nature
الطبعة العربية
الدورية الشهرية العالمية للعلوم

إعادة تعريف الدماغ

خريطة مُحَدَّثة لقشرة دماغ الإنسان تحدِّد 180 منطقة دماغية مميزة لكل نصف كرة مخية. صفحتا 46 و53

فلك

أُفُق قريب

كوكب شبيه بالأرض يدور حول نجم قريب من الشمس

صفحة 19

علم السموم

أعطوا الكيميائيين فرصة

بروتوكولات اختبار جديدة.. قد تحفِّز الاختراع

صفحة 37

أخلاقيات

زهور لَألْجِرْنُون

الرواية التي احتفظت بقوتها، حتى بعد 50 عامًا على نشرها

صفحة 43

ARABICEDITION.NATURE.COM
أكتوبر 2016 / السنة الخامسة / العدد 49
ISSN 977-2314-55003

nature

أكتوبر 2016 / السـنــة الخامسة / العـدد 49

Macmillan Egypt Ltd.
3 Mohamed Tawfik Diab St.,
Nasr City, 11371
Cairo, Egypt.
Email: cairo@nature.com
Tel: +20 2 2671 5398
Fax: +20 2 2271 6207

Macmillan Dubai Office
Dubai Media City
Building 8, Office 116,
P.O.Box: 502510
Dubai, UAE.
Email: dubai@nature.com
Tel: +97144332030

تُنشَر مجلة "نِيتْشَر" ـ وترقيمها الدولي هو (5587-2314) ـ مِن قِبَل مجموعة نِيتْشَر للنشر (NPG)، التي تعتبَر قِسمًا من ماكميلان للنشر المحدودة، التي تأسَّست وفقًا لقوانين إنجلترا، وويلز (تحت رقم 00785998). ومكتب ويلز المسَجَّل يقع في طريق برونيل، هاوندميلز، باسينجستوك، إتش إيه إن تي إس، آر جي 21 6 إكس إس. وهي مُسَجَّلَة كصحيفة في مكتب البريد البريطاني. أمّا بخصوص الطلبات والاشتراكات، فيُرجَى الاتصال بمكتب دبي. وفيما يتعلق بمَنْح التفويض لعمل نُسخ مصوَّرَة للاستخدام الداخلي أو الشخصي، أو الاستخدام الداخلي أو الشخصي لعملاء محَدَّدين، فهذا الأمر يتعلق بموافقة "نِيتْشَر" للمكتبات، والكيانات الأخرى المسَجَّلَة من خلال مركز إجازة حقوق الطبع والنشر، ومقرّه في 222 روز وود درايف، دانفيرز، ماساشوسيتس 01923، الولايات المتحدة الأمريكية. والرقم الكودي لـ"نِيتْشَر" هو: 03/0836-0028، باتفاقية النشر رقم: 40032744. وتُنشَر الطبعة العربية من مجلة "نِيتْشَر" شهريًّا. والعلامة التجارية المُسَجَّلَة هي (ماكميلان للنشر المحدودة)، 2016. وجميع الحقوق محفوظة.

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

رسالة رئيس التحرير

إطلالة على آفاق العلوم في شهر

في هذا العدد من دورية "*Nature* الطبعة العربية"، تجدون مختارات من منشورات دورية *Nature* الدولية في أربعة أعداد أسبوعية، من الخميس الموافق 11 أغسطس إلى الخميس الموافق 1 سبتمبر 2016. ويضم العدد بين جنباته إضاءات على آفاق تَقَدُّم العلوم، نعرض منها ما يلي:

في قسم "رؤية كونية"، وتحت عنوان " حماية الحرية الشخصية في المجتمعات الشبكية"، يدعو كريستوف بوك إلى التوسع في قوانين وممارسات مكافحة التمييز، بما يعوض فشل حماية البيانات، وانتهاك الخصوصية المرتبط بالتكنولوجيا الحديثة، فضلًا عن تشجيع العلماء على التأكد من أن انتهاك الخصوصية باستخدام التقنية لا يؤدي بالضرورة إلى المساس بالحرية الشخصية.

وفي "أخبار في دائرة الضوء"، وتحت عنوان "دليل النيوترينو لحل لغز الكون"، نجد استعراضًا لتجربة يابانية، قد تفسر سبب امتلاء الكون بالمادة، بدلًا من المادة المضادة، التي ذهبت إلى أن هذا يرجع إلى تصرُّف جسيمات تحت ذَرِّيَّة تُسمى "نيوترينونات" بصورة مختلفة في المادة عنها في المادة المضادة.

وفي القسم نفسه موضوع بعنوان "كوكب شبيه بالأرض في ضيافة نجم قريب"، نجد مزيدًا من التفاصيل عن الكشف الذي جذب أنظار العالم مؤخرًا، وهو كوكب في حجم الأرض، يدور حول نجم "بروكسيما سنتوري" ـ النجم الأقرب إلى الشمس ـ على مسافة مناسبة تسمح بوجود مياه متدفقة، مما يجدد الأحلام القديمة بوجود كوكب صالح للسكنى؛ لإرسال البشر إليه.

وتحت عنوان " محطات الطاقة النووية تستعد للشيخوخة"، نتعرف على الجهود الحثيثة التي تقوم بها دول كثيرة حول العالم؛ للمحافظة على تشغيل محطات الطاقة النووية لما بعد عام 2050؛ ليصل عمر بعضها إلى 80 سنة، في مقابل الأصوات التي تنادي بوَقْفها.

وفي قسم "التحقيقات"، وتحت عنوان " اختناق النطاق الترددي"، نستعرض محاولات الباحثين وشركات تكنولوجيا المعلومات؛ لإصلاح وتوسيع ممرات نقل البيانات حول العالم؛ لمواجهة تهديدات الاختناقات المرورية الرقمية بوقف مسار ثورة تكنولوجيا المعلومات.

كما يحتوى قسم "التحقيقات" أيضًا على موضوع بعنوان "محيط من البلاستيك"، يحاول أن يعرف مصادر الكميات الهائلة من البلاستيك الذي يملأ المحيطات والبحار حول العالم، وكمياتها بالتحديد، والأماكن التي تنتهي فيها، وأضرارها، خاصة على الأحياء المائية. والأهم من كل ذلك.. ما الذي يجب أن نفعله لمواجهة هذه المشكلة، حتى وإنْ لم تتوفر البيانات الكاملة.

وفي قسم "أنباء وآراء"، وتحت عنوان "الدهون ومصير أورام البنكرياس"، يتناول ميليك كنان أركان بحث عن تأثير الخلايا الدهنية على أورام سرطان البنكرياس، التي قد تؤدي إلى تراجع القدرة على التكهن بتطور المرض، وأيضًا تراجع فعالية العلاج الكيميائي إلى مستوى أقل من المتوسط. وفي القسم ذاته، وتحت عنوان " جيل الروبوتات المرنة "؛ تعرِّفنا باربارا مازولاي، وفيرجيليو ماتولي على "الأوكتوبوت" - أول روبوت مصنوع بالكامل من مواد مرنة، ويعمل من خلال تفاعل كيميائي، وتتحكم فيه دائرة منطقية مائعية، ويمثل إيذانًا بميلاد جيل جديد من الروبوتات المرنة، التي قد تتفوق على الروبوتات التقليدية، والتي تحمل وعودًا كبيرة لعدة تطبيقات، مثل خدمة وفحص الماكينات، وعمليات البحث والإنقاذ، وعمليات الاستكشاف، فضلًا عن الإسهام في تحسين الصحة وجودة الحياة.

أمّا في "التعليقات"، فيقترح كل من جون سي. وورنر، وجينيفر كيه. لودويج ثلاث طرق لمساعدة المخترعين على إنتاج مواد ومنتجات كيميائية أكثر أمنًا، وذلك تحت عنوان "نحو نهج جديد لاختبار المخاطر الكيميائية"، وتشمل هذه الطرق توحيد اختبارات السلامة الكيميائية، واختبار المنتجات النهائية، وإعلان نتائج الاختبارات للعامة.

وفي القسم ذاته، وتحت عنوان " زهور لأَلْجِرْنُون"، يعود بنا أنانيو بتاتشاريا إلى قراءة رواية الخيال العلمي الشهيرة، التي أتمَّت عامها الخمسين هذا العام، وتُعتبر بمثابة حجر أساس لأخلاقيات علم الأحياء التجريبي.

وفي قسم "مهن علمية"، وتحت عنوان "الحواسب تراقب الشعاب المرجانية"، يشرح جيف توليفسون الأدوات المختلفة لتحليل الصور الملتقَطة تحت المياه للشعاب المرجانية في مختلف أنحاء العالم، من برامج حواسب مبتكرة، وأجهزة استشعار مُعدّلة، ووسائل أخرى متقدمة، يستخدمها علماء الأحياء البحرية؛ لجمع بيانات حول الشعاب المرجانية في مختلف أنحاء العالم، وقد تُحْدِث طفرة في علوم البيئة البحرية.

مدير تحرير الترجمة
القائم بأعمال نائب رئيس التحرير
علياء حامد

المحتويات

أكتوبر 2016 / السنة الخامسة / العدد 49

هـذا الـشـهــر

مهن علمية

أخبــار فى دائرة الضــوء

تحقيقات



تكنولوجيا

اختناق النطاق الترددي

هل يمكن لممرّات نقل البيانات تفادي الازدحام المروري الكارثي؟ صفحة 29

تعليقات



كتب وفنون

مستقبليات

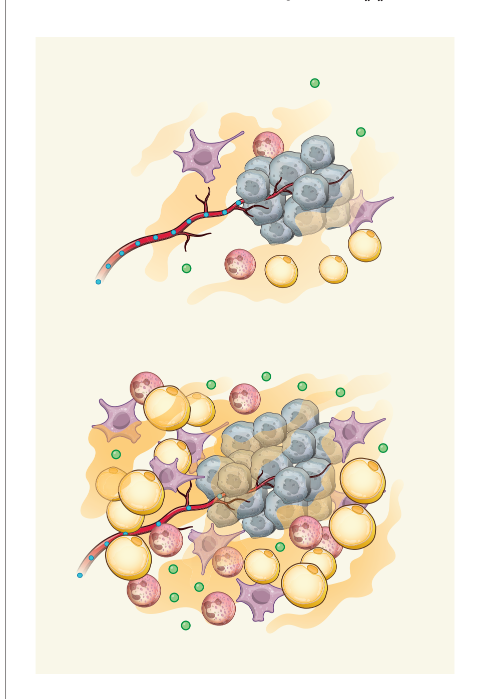


تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

المحتويات

أكتوبر 2016 / السنة الخامسة / العدد 49

أبحـــاث



MATTHEW F GLASSER & DAVID C VAN ESSEN

على الغلاف

إعــادة تعــريف الدمــاغ

الإصدار الأول من الخريطة متعددة الأنماط لوحدات قشرة المخ البشري، الصادرة عن «مشروع الكونيكتوم البشري» Human Connectome Project، في نموذج سطحي للنصف الأيسر. تم التوصل إلى خريطة مفصلة لقشرة المخ البشري، من خلال دمج بيانات التصوير متعددة الأنماط، بما في ذلك تقنية التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي. ومن شأن الأدوات الناتجة المتوفرة بالمجان أن تتيح إجراء دراسات تفاضلية مفصلة للمخ البشري في نطاقات الصحة، والشيخوخة، والمرض. صفحتا 46 و53

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

هــذا الشــهــر

افتتاحيات

علم الجينوم قاعدة بيانات كبيرة ومفتوحة بمثابة كنز دفين للتنوع الجيني النادر **ص. 8**

رؤية كونية لابد أن يكون السائق متحكمًا بالكامل - حتى لو لم يكن بشريًا **ص. 10**




البيئة الحضرية حشرات أكثر تنوعًا في الأحياء الغنية **ص. 12**

انطلِـقْ نحــو التكــرار!

مِن أجل جَعْل الدراسات المكررة أكثر فائدة؛ يجب على الباحثين تقديم المزيد منها، ويجب على المموِّلين دعمها، وأنْ تشجع الدوريات العلمية نَشْرها.

لا يرغب أيٌّ من العلماء في أن يكون أول مَن يحاول تكرار دراسة واحدة أجراها عالِم آخر؛ فالأفضل أن يتعرف ـ من بعيد ـ على نتائج إقدام شخص آخر على تلك الخطوة. وقبل وقت طويل من شيوع فكر قابلية تكرار التجارب، أو إعادة إنتاجها، وتحوُّلها إلى محور رئيس في الحوار العلمي، عمد العلماء إلى استراتيجيات مختلفة لنشر المبدأ؛ كالثرثرة والتحدث عنه مثلًا. كان العلماء في المؤتمرات يقارنون بين الملاحظات، وكانت إحدى شبكات الباحثين تتلقَّى تحذيرات من إمكانية الاعتماد على إحدى الدراسات، والبناء عليها، أو يتضمن أحد المنشورات العلمية ذات الصلة بين طياته تعليقًا غامضًا عن الأمر.. مِن قبيل: "بين أيدينا هنا"، أو "أسباب اختلاف النتائج التي تَوَصَّلنا إليها ليست واضحة..."، أو "مِن المثير للاهتمام أنّ نتائجنا لم..".

إنّ الأشياء الواضحة ـ كوجود ورقة بحثية عن الدراسات المكرَّرة التي أُجريت، وما توصلت إليه من نتائج ـ لم تكن ضمن الاحتمالات أبدًا.. فقد رفضت دوريات عديدة نشر التجارب المكررة، كما نأَى باحثون كثيرون عن الوقوع في دائرة الخلافات التي قد تُثار إذا ما توصلوا إلى نتائج مغايرة للنتائج الأصلية. ولذا.. قد يُهْدِر العلماءُ غيرُ المدرِكين الوقتَ في استكشاف طريق مسدود، أو يأخذون الحيطة والحذر من البحوث الواعدة حقًّا، ويبتعدون عنها.

إنّ الأوضاع تتحسن الآن؛ إذ تتعدد الوسائل اليوم أمام الباحثين الراغبين في الكشف عن دراساتهم المكررة للمجتمع العلمي، عن طريق تسجيل محاولاتهم في مدونة، أو نشرها في خوادم ما قبل الطباعة، أو نشرها كبحوث خاضعة لمراجعة الأقران في الدوريات التي لا تشترط احتواء العمل على شيء جديد. وفي هذا العام، دشّنت منصة F1000 ـ الموجودة على شبكة الإنترنت ـ قناة لقابلية إعادة الإنتاج وصِدق النتائج في المرحلة قبل الإكلينيكية، مخصصة للمقالات التفنيدية أو المؤيدة، أو الدراسات المكررة الأكثر دقة. كما تسعى دوريات معروفة أخرى ـ كدورية "ساينتيفك داتا" *Scientific Data*، ودورية "أميريكان جورنال أوف جاسترو‌إنتيرولوجي" *American Journal of Gastroenterology* ـ إلى اجتذاب محاولات تكرار التجارب للنشر، وكذلك النتائج السلبية. وفي عام 2013، في أعقاب دراسة مثيرة للجدل حول إمكانية عبور جزيئات الحمض النووي الريبي النشط حيويًّا من القناة الهضمية إلى مجرى الدم، أعلنت دورية "نيتشر بايوتكنولوجي" *Nature Biotechnology* أنها "مستعدة لتَلَقِّي الدراسات المكررة"، شريطة أن تسلِّط هذه الدراساتُ الضوء على أسئلة بحثية مهمة (*Nature Biotechnol*. **31**, 943; 2013).

> **«لا تزال المواثيق والاتفاقيات المتعلقة بالدراسات المكررة في مهدها، وحتى قاموس المفردات فقير، وغير واف».**

يتصدَّر مجتمع علم النفس هذا المجال. فقد بدأت دورية "بيرسبكتيفز أون سيكولوجيكال ساينس" *Perspectives on Psychological Science* في نشر نوع جديد من المقالات، والتمهيد لنمط جديد من التعاون؛ إذ طلبت من علماء النفس تحديد إحدى الدراسات المهمة لإعادة إنتاجها، ووضع خطة لذلك، حيث يُدعَى مؤلف الدراسة الأصلي إلى تقديم مقترحات للبروتوكول المتَّبَع، كما تَعرِض مختبرات عديدة خدماتها تطوعيًّا لجمع البيانات، وتُنشر النتائج ـ أيًّا كانت ـ على هيئة تقرير تكرار مسجَّل (RRR). وقد نُشرت حتى الآن ثلاثة تقارير، يتضمن كل منها رأي المؤلفين الأصليين.

نشر الفكرة

إنّ متابعة إجراء مثل هذه التجارب لن تكون أمرًا فعالًا سوى لعدد قليل من المنشورات؛ إذ إن غالبية محاولات تكرار التجارب لا تقع ضمن فئة الأعمال التعاونية المنسقة، وإنما تُجرَى من خلال مختبرات فردية، تقوم باختبار المرحلة التالية من البحوث التي يقومون بها. ولو تمت مشاركة هذه النتائج؛ فسوف تحقِّق للعلم فوائد عظيمة.

وهنا، يُثار سؤال مهم: لماذا لا يحدث ذلك كثيرًا؟ وتأتي الإجابة في أن النظام المحيط بعملية تكرار التجارب ليس واضحًا بما يكفي، وله مكانة منخفضة، كما يفتقر إلى المواثيق المنظِمة.

وإذا صادف أحد الباحثين دراسة مثيرة، لا تُتاح له وسيلة سهلة لمعرفة ما إذا كانت هناك محاولات لتكرارها، أم لا؛ إذ لا يتم ربط الدراسات المكررة بصورة أوتوماتيكية ومستمرة بالبحوث الأصلية المنشورة على المواقع الإلكترونية للدوريات، أو على موقعَي PubPeer، وPupMed. وحتى في حالة ذكر إحدى محاولات التكرار بصورة عابرة في دراسة ذات نطاق أوسع، لا يجدون طريقة للوصول إليها. ولا يُتوقع من الدوريات أن تتكفل باحتواء كل محاولات تكرار الدراسات التي تنشرها، إلا أنه يتعين عليها دعم التكنولوجيا التي تتكفل بجمع هذه المعلومات ونشرها. كما يجب أيضًا أن تتقبل نشر المحاولات المستفيضة لتكرار التجارب المنشورة مسبقًا، فعلى سبيل المثال، تشجِّع دورية "ساينتيفِك ريبورتس" *Scientific Reports* المقالات النقدية؛ من خلال التنازل عن مستحقاتها المادية لتحرير المقالات التفنيدية الخاضعة لمراجعة الأقران لأيّ مقال منشور فيها.

ومِن شأن اتساع رقعة نشر محاولات تكرار التجارب أن يرفع من مكانتها؛ مع ارتفاع خطورة ردود الأفعال الانتقامية ضد الباحثين الذين أجروها. ولذلك.. فما يحصلون عليه من مكافآت إثر قيامهم بالأمر لا يغري بالإقدام على هذه المخاطرة. وفي الوقت الحالي، لا تسهم الدراسات المكررة التي تُنشر بشكل كبير في رفع مكانة مَن يقومون بها لدى لجان التوظيف، أو مراجعي المنح؛ مما يتسبب في خلق مشكلة جدلية، يحجم الباحثون عن إجراء دراسات متعمقة تتعلق بهذا النوع، ونشرها، لأنها لا تحظى بالتقدير الملائم؛ ويعود سبب عدم تقديرها هذا إلى انخفاض معدل نشر هذا النوع. ومن هنا، يجب الثناء على مواقف بعض المموِّلين ـ مثل مؤسسة "لورا آند جون أرنولد" في الولايات المتحدة، و"المنظمة الهولندية للبحث العلمي" ـ الذين يدعمون تكرار التجارب بشكل واضح، ويعقدون آمالًا كبيرة على النشر. ويمكن للعلماء الإسهام في ضمان حصول مثل هذه الدراسات على التقدير الملائم؛ من خلال الاستشهاد بها، ومناقشة محتواها على مواقع التواصل الاجتماعي.

لا تزال المواثيق والاتفاقيات المتعلقة بالدراسات المكررة في مهدها، وحتى قاموس المفردات فقير، وغير واف، كما أن المحررين الذين يقومون بتنسيق التقارير الموثقة للتكرار يبذلون الكثير من الجهد؛ لتجنب وَسْم تجارب التكرار بكلمات ذات ثقل، من قبيل "ناجح"، و"فاشل". كما تتجنب مبادرة قابلية إعادة الإنتاج Reproducibility Initiative ـ التي تسعى لمساعدة المختبرات على التنسيق بين محاولاتها الفردية لتكرار تجاربها ـ استخدام عبارات مشابهة عقب أول دراسة لها. فالورقة البحثية هي بمثابة خليط من الظروف، والتجارب، والنتائج، والتحليل، والتنظير المستنير. ويمكن أن تعتمد النتائج على اختلافات تبدو بسيطة بين المناهج المستخدَمة، مثل مدى قوة امتزاج الكواشف؛ حسبما اكتشفت إحدى مجموعات التعاون، بعد كثير من الجهد (W. C. Hines *et al*. *Cel Rep*. **6**, 779-781; 2014).

هذا.. ولا تتوافر مواثيق منظمة لقنوات الاتصال بين الباحثين المكرِّرين للأبحاث، وباحثي الدراسات الأصلية. وقد رفض بعض الباحثين الأصليين مشاركة أي بيانات، أو تفاصيل منهجية. وفي حالات أخرى، قام بعض الباحثين المكرِّرين للتجارب بنشر

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

أعمالهم تلك، دون أن يحاولوا أولًا حسم أوجه التضارب؛ مما يجعلهم أكثر عرضة للاتهام بعدم الكفاءة. ولحسن الحظ، (توقَّف الباحثون المكرِّرون والباحثون الأصليون مؤخرًا عن التراشق بالألفاظ). ومع اتساع رقعة انتشار الدراسات المكررة، تزداد ثقتنا بأنّ المجتمع سيقوم بوضع معايير مناسبة لإجراء هذا النوع من الدراسات.

إنّ تعزيز سلوك أفضل يتطلب أن تصبح الدراسات المكررة أكثر شيوعًا. ومن جانبنا، نحثّ الباحثين على الكشف عن نتائجهم غير المنشورة، كما نحثّ مؤلفي الأبحاث المنشورة على التعاون، والاستجابة للطلبات المعقولة المقدَّمة إليهم للحصول على بيانات أوّليّة عن دراساتهم، وعلى افتراض حُسْن النية، وأن يعكفوا على كتابة الأوراق البحثية، والاحتفاظ بالسجلات، مع افتراض أن آخرين سيرغبون في تكرار دراساتهم فيما بعد. ونحثّ المموِّلين والناشرين أيضًا على دعم الأدوات التي تساعد الباحثين على الربط بين الدراسات المختلفة. هذا.. ونرحب بالنتائج التي تبحث في مدى صلاحية ودقّة المنشورات المهمة، بما في ذلك دورية *Nature*؛ ويسعدنا تقديم العون اللازم لنشرها. ■

مكافآت نـادرة

دراسة جديدة عن المعلومات الجينية لحوالي 60,000 شخص تكشف عن مفاجآت مذهلة، وتبرِز الحاجة الماسة إلى إتاحة البيانات الجينية للجميع؛ لمساعدة دارسي الأمراض النادرة.

انتهى فريق من العلماء من وضع التسلسل الجينومي ـ أو تسلسل مناطق تشفير البروتين الخاصة بالجينوم (الإكسوم) ـ لأكثر من مليون شخص. ويبقى الأمل في إمكانية نشر هذه البيانات، وربطها بالنمط الظاهري ـ لا سيما فيما يتعلق بالأمراض ـ وتحسين الرعاية الطبية، لكنْ ثمة عائق يحول دون تحقيق ذلك، وهو قلة البيانات المتاحة للجميع.

وفي خطوة مهمة، قدَّمت دورية *Nature* ـ في الأسبوع الثالث من أغسطس الماضي ـ تقريرًا مفصلًا عن الإصدار الأول لـ"رابطة تجميع الإكسوم" ExAC، الذي يُعتبر أكبر كتيب إرشادي حتى الآن عن تباين مناطق تشفير البروتين في الإنسان. يضم هذا الكتيب بيانات التسلسل الخاصة بحوالي 60,000 شخص. والأهم من ذلك أنه يتيح هذه البيانات على قاعدة بيانات مفتوحة، تشكل بالفعل مصدرًا مهمًّا وحيويًّا (http://exac.broadinstitute.org).

ورغم التحديات الكثيرة التي تواجه نشر هذه المجموعات من البيانات، فإن هذا لا يقلل من شأن الجهود العظيمة، التي بذلها العلماء المشاركون في هذا المشروع؛ لإتاحة هذه الدراسة للجميع؛ إذ يعرض الجدول الخاص بها نظرة فاحصة في التنوع الجيني النادر بين البشر، كما يحدد بثقة تامة أكثر من 4,7 مليون متغير جيني (جينات جديدة في أكثر الأحيان)، ويوثق طفرات نادرة، ظهرت بصورة مستقلة؛ لتقدِّم أول تقدير لمعدلات تكرار حدوثها. كما تتوصل الدراسة إلى 3,230 جينًا، لم يتعرض أي منها تقريبًا لفقدان وظيفته الحيوية. ولم يتم ربط أكثر من ثلثي هذه الجينات بأمراض؛ مما يؤكد ما نعانيه حتى الآن من قصور في الفهم.

تثير هذه الدراسة أيضًا المخاوف بشأن الربط الخاطئ بين المتغيرات الجينية من جانب، والأمراض النادرة من جانب آخر؛ حيث يكون لدى المشارك العادي في التجارب التي تجريها رابطة تجميع الإكسوم حوالي 54 متغيرًا، تم تصنيفها في السابق على أنها مسبِّبة لاضطرابات نادرة، إلا أن الكثير من هذه المتغيرات يظهر بمعدلات تكرار مرتفعة جدًّا، على نحو غير معقول؛ مما يؤكد أن تصنيفها السابق لم يكن صحيحًا. وفي هذا الإطار، قام الباحثون المشاركون في هذه الدراسة بمراجعة الأدلة الخاصة بـ 192 متغيرًا، كانت مصنفة في السابق على أنها مسبِّبة لاضطرابات مندلية نادرة، وتم رصدها من قِبَل رابطة تجميع الإكسوم بمعدلات تكرار مرتفعة؛ لإثبات أن 9 فقط من هذه المتغيرات مُمْرِضة. لا شك أن الربط الخاطئ يؤدي إلى نتائج خطيرة؛ إذ تسترشد عمليات تشخيص وعلاج الأمراض ـ بالفعل ـ ببيانات هذه المتغيرات (على سبيل المثال.. انظر: E. V. Minikel *et al*. *Sci*. *Transl*. *Med*. **8**, 322ra9; 2016 and R. Walsh *et al*. *Genet*. *Med*. http://dx.doi.org/10.1038/gim.2016.90; 2016).

توضِّح نتائج هذه الدراسة ضرورة التزام الباحثين والأطباء المعالجين بالحرص الشديد عند تقييمهم للنتائج المنشورة بشأن الاضطرابات الجينية النادرة. كما تؤكد ضرورة مراجعة المتغيرات التي تظهر في بيانات التسلسل، وذلك باستخدام مجموعة بيانات رابطة تجميع الإكسوم، وغيرها من الأدوات المرجعية، وهو إجراء مستخدَم على نطاق واسع في مجال علم الجينوم.

ويخطِّط مشروع رابطة تجميع الإكسوم للتوسع على مدار العام القادم، ليشمل 120,000 إكسوم، و20,000 تسلسل جينومي كامل. ويتوقف ذلك على مدى توفُّر إرادة التعاون لدى الاتحادات البحثية الكبرى، كما يُبْرِز أهمية نشر البيانات الجينومية، وتجميعها، وتنسيقها. وينطبق ذلك أيضًا على المتغيرات المرضية؛ حيث تزداد الحاجة إلى قواعد بيانات، توفِّر ثقة أكبر في تفسير المتغيرات، مثل قاعدة بيانات "كلينفار" ClinVar، التابعة للمركز الوطني الأمريكي لمعلومات التكنولوجيا الحيوية.

سيحتاج تطوير علم الوراثة الإكلينيكي إلى مواصلة الاستثمار في هذا النوع من قواعد البيانات، والمزيد من إسهامات المختبرات الإكلينيكية والباحثين والأطباء المعالجين، وتوسيع جداول المَراجع الجينية البشرية، والعمل على ربط هذه الجداول ببيانات النمط الظاهري. ويتضمن ذلك ـ في الغالب ـ إعادة الاتصال بالمتطوعين والمتبرعين، وسيتم تجريبه من خلال مجموعة بيانات فرعية خاصة برابطة تجميع الإكسوم، في حدود ما تسمح به الموافقات.

وعلى نطاق أوسع.. يتطلب نشر البيانات الجينية والإكلينيكية المترابطة ـ بوسائل تحافظ على الخصوصية ـ نمطًا جديدًا من التفكير في صياغة الأخلاقيات واللوائح التنظيمية، وهو ما بدأت في تَبَنِّيه معاهد الصحة الوطنية الأمريكية، والتحالف العالمي للجينوم والصحة، ويجب أن تتبعهما في ذلك مؤسسات أخرى؛ لا سيما أن دراسة رابطة تجميع الإكسوم تسلِّط الضوء على المكافآت المحتمَلة. ■

مخـاوف بشـأن الطـاقة

تَعُود محطات الطاقة النووية القائمة حاليًّا بنفع معقول، نظرًا إلى ما تنتجه من طاقة منخفضة الكربون، ولكنْ هناك الكثير من العمل ينتظر صناعة الطاقة النووية، إذا ما أُريد لها أن تستمر وتزدهر في القرن الواحد والعشرين.

عندما حَثَّت ولايةُ نيويورك ـ في ديسمبر الماضي ـ شركات المرافق على استخدام مصادر طاقة متجددة؛ لإنتاج 50% من الطاقة بحلول عام 2030، أُثيرت ـ بطبيعة الحال ـ تساؤلات كثيرة حول الطاقة النووية. وحاليًّا، تنتِج ستة مفاعلات نووية في أربع محطات أكثر من 30% من احتياجات الولاية من الكهرباء، وأكثر من نصف ما تنتجه مصادر الطاقة قليلة الكربون. ويُذكَر أن أربع محطات منها كانت عرضةً لخطر الإغلاق، نظرًا إلى حسابات اقتصادية بسيطة، حيث لم تستطع منافسة الغاز الطبيعي الرخيص.

وبالأخذ بعين الاعتبار القيمة المناخية للطاقة منخفضة الكربون، التي يتم توليدها في هذه المحطات، مَنَحها منظِّمو الولاية دعمًا ماليًّا جديدًا في الأول من أغسطس الماضي. بدأت الولاية بـ"التكلفة الاجتماعية للكربون"، باعتبارها أوضح تمثيل للأضرار الناجمة عن انبعاث غازات الاحتباس الحراري، وهي التكلفة التي تقدِّرها الحكومة الأمريكية حاليًّا بحوالي 38 دولارًا للطن الواحد من ثاني أكسيد الكربون، يُتوقَّع أن ترتفع إلى 50 دولارًا بحلول عام 2030. كانت الإيرادات أقل من ذلك بكثير، ولذا فإن هذه المحطات النووية ستكون مؤهَّلة الآن للحصول على "شهادة بخلوها من الانبعاثات"، وهو ما يعوَّل عليه لتعويض النقص. ومن المُتوقَّع أن يبلغ هذا الدعم ـ في السنتين الأوليين فقط ـ 965 مليون دولار تقريبًا. قال مسؤولو شركة "إكسيلون" ـ ومقرها ولاية إلينوي، وتمتلك محطتين، وتُجْري مفاوضات لشراء الثالثة ـ إنها ستمضي قدمًا في خطتها للاستمرار في تشغيل المحطات.

إذَن، فالدرس المستفاد الأول هو أن سعر الكربون مهم. وتمثل نيويورك واحدة من تسع ولايات شرقية مشارِكة في نظام المتاجرة في الانبعاثات. هذا ولم يكن السعر الحالي ـ ومتوسطه حوالي 4 دولارات للطن الواحد من ثاني أكسيد الكربون ـ عاليًا بما فيه الكفاية للحفاظ على قدرة الطاقة النووية على منافَسة الغاز الطبيعي.

أشاد كل من العاملين بهذا القطاع في الولايات المتحدة، وبعض الناشطين البيئيين المؤيِّدِين للطاقة النووية بـ"معيار نيويورك"، باعتباره خطوة على الطريق الصحيح، ونموذجًا يمكن أن تحاكيه ولايات أمريكية أخرى، حيث تواجه الطاقة

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

النووية فيها عقبات اقتصادية مماثلة. وبصفة عامة، فإن المعيار يذكِّرنا بأن أمام سياسات المناخ طريقًا طويلًا لتقطعه، على الرغم مما وصل إليه اتفاق باريس للمناخ في العام الماضي.

ومع ذلك.. فلا تقف مشكلات القطاع النووي عند هذا الحد، حيث توفِّر حاليًّا حوالي 440 محطة طاقة نووية 11% من الطاقة الكهربائية في العالم، علمًا بأنّ عُمْر هذه المحطات يبلغ 30 عامًا في المتوسط. ورغم أن هناك أكثر من 60 مفاعلًا قيد الإنشاء، فإن الصناعة النووية يجب أن تعمل للحفاظ على نسبة إسهامها في إنتاج الطاقة، عندما تتوقف المحطات القديمة عن العمل في العقود المقبلة.

في الوقت نفسه، تُعَارِض ولاية نيويورك الجهود الرامية إلى مَدّ عُمْر مفاعلَين آخرين في محطة إنديان بوينت النووية "IPEC" لأسباب تتعلق بالسلامة. وما زالت الشركة المشغلة لصالح المحطة تحاول تجنُّب الأسئلة حول تلوُّث المياه الجوفية بالتريتيوم، وتَعَطُّل الأجهزة المتكرِّر، بينما تتقدم بطلب للحصول على تصريح من اللجنة التنظيمية النووية الأمريكية "NRC" لإطالة عُمْر المفاعلات من 40 إلى 60 عامًا.

وما دامت محطات الطاقة النووية قادرة على إثبات أن تشغيلها آمِن، فينبغي تشجيع إسهاماتها في الجهود العالمية؛ للحدّ من غازات الاحتباس الحراري. وفي الواقع، قد تجد الحكومات والمجتمعات في مواضع معينة أن التكلفة المحتمَلة لوقوع حادث نووي باهظة. ويتوقف احتمال توسُّع هذه الصناعة على ظهور جيل جديد ـ غير مؤكَّد حتى الآن ـ من المفاعلات المحصَّنة ضد الحوادث. وبِغَضّ النظر عن الجهود التي تبذلها نيويورك للإبقاء على عدد قليل من المفاعلات النووية قيد التشغيل، فمن الواضح أن الولاية تراهِن بحقّ على مصادر الطاقة المتجددة. ■

حجر عثرة في طريق "سيرن"

اختفاء إشارة مصادم الهدرونات الكبير "LHC" أمرٌ مخيب لآمال مَن يحاولون الترويج للمسرِّع الكبير القادم.

مِن المعروف أنّ العِلْم يزدهر بالاكتشافات. ولذا.. من الطبيعي أن يحزن علماءُ الفيزياء على ما تَلَقَّوه من أخبار في شهر أغسطس الماضي. ففي الوقت الذي كان يستعد فيه مجتمع فيزياء الطاقة العالية للاجتماع في مدينة شيكاغو في الخامس من شهر أغسطس، كانت الآمال كبيرة ـ لكنْ حذرة ـ في أنْ يكون مصادم الهدرونات الكبير بمنظمة "سيرن" ـ وهي المختبَر الأوروبي لفيزياء الجسيمات، الواقع بالقرب من جنيف بسويسرا ـ قد توصَّل إلى اكتشاف آخَر يُضاف إلى اكتشاف جسيم بوزون هيجز، لكن ذلك لم يحدث؛ فالبروز الظاهر في رسوم البيانات ـ الذي تَسبَّب في إثارة الحماس بهذا الشكل ـ جرفه طوفان من البيانات الجديدة، ليتضح أنه لم يكن سوى تذبذبات إحصائية.

عادةً ما يبدي الفيزيائيون رضاهم حيال مواصلة مصادِم الهدرونات الكبير أداء وظيفته المستمرة؛ لإثبات ـ بمزيد من الدقة ـ صحة النموذج القياسي. وهي نظرية ناجحة إلى حد بعيد، معروف عنها عدم اكتمالها، بيد أن الضجة التي أحدثها البروز الظاهر في البيانات جعلَتْهم متعطشين إلى المزيد. وكما هو واضح من البحوث النظرية الـ500 التي كُتبت حول الأمر، فإنّ علم الفيزياء مهيأ لاستقبال شيء جديد.

وكَوْن مصادم الهدرونات الكبير لم يكشف عن أي جديد حتى الآن فيما وراء النموذج القياسي لا يعني أن ذلك لن يحدث أبدًا. فقد جمعت الآلة حتى الآن ما لا يزيد على عُشْر كمية البيانات التي يأمل العلماء تجميعها بحلول نهاية عام 2022، و1% فقط مما يمكنها تجميعه، إذا ما مضى المخطَّط الموضوع لزيادة كثافة الاصطدامات قُدُمًا، إلا أن شح المعلومات هذا يثير قلق البعض. وتتوقع فكرة التناظر الفائق أنّ النظائر الأثقل للجسيمات العادية سوف تصبح جلية عند طاقات التصادم الأعلى. وقبل تشغيل مصادم الهدرونات الكبير، كان يمكن لمؤيدي تلك النظرية أن يراهنوا على إمكانية مشاهدة شيء جديد بحلول الوقت الحالي، لكنْ إذا استمر الأمر، وقلَّت المعلومات أكثر؛ قد تدخل فيزياء الطاقة العالية في "كابوس"، كما يسميه البعض، وهو ألّا يجد المصادِم شيئًا أبعد من جسيم بوزون هيجز. وبدون عهد "جديد" من الفيزياء، ليس هناك من سبيل سهل لكشف الألغاز التي لا تُعَدّ ولا تُحصَى، والتي فشل النموذج القياسي في توضيحها؛ بما في ذلك المادة المظلمة والجاذبية.

ARABICEDITION.NATURE.COM
للتعليق على المقالات، اضغط على المقالات الافتتاحية بعد الدخول على الرابط التالي:
go.nature.com/nqvdkp

ولا تزال هناك أسباب قوية لصنع آلة تَخْلُف مصادِم الهدرونات الكبير، ولكنْ من غير التوصل إلى اكتشاف جديد، قد يذهب هذا التعلُّق العام بفيزياء الطاقة العالية أدراج الرياح؛ إذ سوف يأتي زمن يصبح فيه الاستكشاف وحده غير مُرْضٍ بما يكفي.

ومن ثم، سوف يكون من الصعب إقناع وكالات التمويل بإنفاق عدة مليارات من الدولارات؛ لمواصلة العمل بالأسلوب نفسه، خصوصًا عندما تمثِّل تكاليف تجارب النيوترينو والتدقيق المعتمِد على المختبرات جزءًا من تلك المبالغ. وستقع مهمة النظر بعناية في مدى جدوى العمل بهذه الاستراتيجية في الاستكشاف على كاهل الفيزيائيين. وإذا ما ظلَّت المصادمات عالية الطاقة أمرًا أساسيًّا؛ فسوف تحتاج إلى أن تعمل على محاولة زيادة المبيعات لديها. ■

استخــدام «كريسبر» في علم الأحياء النمائي التطوري

تساعد تقنيات التحرير الجيني الحديثة في تفكيك أصول التكيُّف التطوري.

بعض العلماء يُطْلِق على ذلك الدجاج اسم "تشيكنوصوروس" chickenosaurus، والبعض الآخر يروق له تسميته "داينو-تشيكن" dino-chicken، لكنْ أيًّا كان المصطلح الذي يمكن أن تطلقه على مقترح تحويل الدجاجة إلى مخلوق يشبه سلفها من الديناصورات، فإنّ الدجاجة تمر بمرحلة علمية تاريخية.

لقد نجح الباحثون في جعل أقدام الكتاكيت غير مكتملة النمو، وأطرافها، ووجوهها، أكثر شبهًا بأسلافها التي كانت موجودة منذ 150 مليون سنة؛ وذلك عن طريق العبث بالمسارات الجزيئية، التي تشكل هذه الهياكل؛ بهدف فَهْم الأحداث الجزيئية المسؤولة عن أحد أكثر التحولات المذهلة في السجل الأحفوري.

يحفل مجال علم الأحياء النمائي التطوري (يُعرف اختصارًا بـevo-devo) بهذا النوع من الكائنات، بدءًا من الفئران ذات الأطراف الطويلة، التي تشبه أطراف الخفافيش، إلى ذبابة الفاكهة ذات الجذوع المقسَّمة، التي تشبه جذوع الخنافس، لكنْ لا تزال الأدوات البدائية التي تُستخدم في إدخال تعديلات على هذه الكائنات غير مُحكَمة.

وهذا الوضع يوشك أن يتغير.. ففي بحث نُشر على الإنترنت بتاريخ 17 أغسطس 2016، استخدم فريق من الباحثين تقنية "كريسبر-كاس9" CRISPR-Cas9؛ لتثبيط الجينات المسؤولة عن نمو سمكة الزَّرد؛ مما أدى إلى ظهور أطراف زعانف أشبه بأقدام وأصابع الفقاريات البرية (T. Nakamura *et al*. *Nature* http://dx.doi.org/10.1038/nature19322; 2016). وعبثت عدة تجارب في تقنية كريسبر ـ أُجريت مؤخرًا ـ بالفراشات؛ لمعرفة سر تعدُّد الألوان التي تبصرها، مقارنة بالذباب، ومضت هذه التجارب قدمًا في التخلص من مخالب القشريات؛ لفَهْم أصول هذه الزوائد المتخصصة.

وحتى الآن، تميل عمليات التحرير الجيني إلى تثبيط الجينات، لكن العلماء المتخصصين في علم الأحياء النمائي التطوري سيَشْرَعون قريبًا في مبادلة الجينات بين الحيوانات بعيدة الصلة؛ لمعرفة أصول بعض التكيُّف، مثل تعدد الخلايا، وفتحة الشرج، وذلك من أجل تسمية مشكلتين فقط، تعصفان بهذا المجال. لقد أصبحت قدرتنا على الوصول إلى الحمض النووي الخاص بالكائنات القديمة وتحليله تعني أننا قادرون على إدراج جينات من حيوانات منقرضة في الجينوم الخاص بسلالاتها الموجودة الآن على قيد الحياة.

قد يجرّ هذا النوع من التجارب عِلْمَ الأحياء النمائي التطوري إلى أهداف وهمية، من قبيل إعادة الحياة للكائنات المنقرِضة، والسعي وراء إعادة إحياء حيوان الماموث المغطَّى بالصوف، وغيره من الحيوانات التي انقرضت منذ أزمنة سحيقة. إنّ كل عمل غير مألوف لا يُعتبر إبداعًا، فالمهم هو الفكرة التي تكمن وراء التجربة. وقد تثبت "وحوش كريسبر الواعدة" صدق أو كذب نظريات وُضعت منذ عقود من الزمان عن الأحداث الكبرى، والمراحل المهمة في التطور، وقد تساعدنا على وَضْع نظريات جديدة.

لذا.. دعُونا نفكر فيما يمكن أن نتعلمه فعليًّا من "الداينو-تشيكن" الحقيقية. ■

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية



JOHN BARUCH

توجيه السيّارات ذاتية القيادة نحو العمل بشكل آلي كامل

حتّى تصبح السيّارة آمنة، يجب مَنْح التحكّم الكامل فيها للسائق، سواء أكان إنسانًا، أم جهاز حاسوب، حسبما يقول **جون باروخ**.

مع تَزايُد شعبيّة السيّارات ذاتية القيادة، تتزايد المخاوف أيضًا. ففي شهر يوليو الماضي، حظرت الصين اختبارات المركبات ذاتية القيادة على الطرق العامّة. ولا تزال التحقيقات مستمرّة بشأن مصرع جوشوا براون، الذي قُتل إثر اصطدام سيّارته ـ من نوع "تيسلا" Tesla، ذات التوجيه الآلي ـ بشاحنة مفصلية في ولاية فلوريدا. كانت سيّارته تَستخدِم كاميرات الضوء المرئي؛ لتصوير الطريق، وأجهزةَ حاسوب؛ لتقييم الوضع العام، غير أنّ الكاميرات ـ ووفقًا لشركة "تيسلا" ـ لم تميِّز الشاحنة البيضاء وسط سماء فلوريدا المشرقة.

وبرغم ما تَعِد به المركبات ذاتية القيادة بإطالة مدة رحلات السفر وإثرائها، إلا أنّها تثير أسئلة عميقة حول علاقتنا كمجتمع بالآلات. كيف سيتعامل الناس مع الأمر؟ وما هو نموذج العمل الذي سيتم تطويره؟

هل سيقتفي مصنِّعو السيّارات أثر منتجي المحرِّكات النفاثة من قبيل "رولز رويس"، و"برات آند ويتني"، بالاعتماد في البيع على المسافة المقطوعة في السفر، وتسجيل نمط عمل كلّ محرِّك يقومون ببيعه؟ وهل سيستخدم أصحاب السيّارات نموذج شركة "أوبر" لتأجير سيّاراتهم، بدلًا مِن تركها في موقف السيارات؟ وهل سيُحْدِث التحول نحو العمل بشكل آلي بالكامل ثورةً في النقل الريفي، مانِحًا الفقراء والشباب والمسنّين والمعوقين من سكّان الأرياف الحقَ في الانتقال والسفر بتكلفة منخفضة؟

إنها لجسيمةٌ تلك التحدّيات التي يواجهها المهندسون المعماريون العاملون في مراكز المدينة، والمساكن، والشوارع، والمدارس، وأماكن العمل المختلفة، ولابدّ من مواجهة القضايا المتعلقة بالتحكُّم في المعلومات؛ كالبيانات الضخمة والخصوصيّات. وقد يجد مصنعو السيّارات أنّ المعلومات التي يقومون بجمعها من خلال تعقُّب أسلوب حياة عملائهم لها قيمة أعلى من قيمة المركبات الخاصة بهم.

يحتاج المجتمع العلمي، والمجتمع بشكل عام، إلى تناول هذه الأسئلة بشكل جاد، واتخاذ قرار موحَّد؛ لتحديد شكل المستقبل الذي نريده، وكيف تتلاءم معه المركبات ذاتية القيادة. وإذا لم يحدث ذلك، فمن المرجَّح أن يتمّ رسم المستقبل من قِبَل الشركات التي ترغب في استخدام التكنولوجيا؛ لكسب الأموال فحسب. ورغم تعقيد الأسئلة المطروحة، يمكن تلخيصها في سؤال واحد: هل يتعيّن على السيّارات ذاتية القيادة أن يتم تزويدها بمِقْوَد؟

إنّ شركات الإنترنت الكبرى، مثل "جوجل"، و"أبل"، و"بايدو" ـ صاحبة الضغط الحقيقي الدافع نحو المركبات ذاتية القيادة ـ لا تعتقد أنّه يتعيّن عليها فعل ذلك، وهي تحرص على توفير أقصى قدر من الوقت على الإنترنت من أجل الأثرياء الذين يمكنهم شراء سيّارة. وبإمكان نموذج عمل شركة "جوجل" استخدام وقت التنقّل اليومي ـ الذي لم يَعُد يُقضَى في قيادة السيارة ـ لزيادة قيمة الإعلانات لديها. وبالتالي، فلن تحبِّذ أن تسمح المركبات ذاتية القيادة للسائق بتَوَلِّي القيادة.. بل تسير المركبة مستقلّة تمامًا بذاتها.

يخضع عدد من المركبات ـ التي تسير دون سائق، ودون مقود، ودون فرصة لأنْ يتولى البشر التحكّم فيها ـ للاختبار حاليًّا، بما في ذلك نظام التنقل في مطار هيثرو بلندن، والحافلات في هولندا، وإيطاليا، والصين. أما الصينيون، فهُم الذين يتعاملون مع الأمر بأعلى قَدْر من الجدّية، حيث تتعاون شركات الإنترنت هناك مع مصنِّعي السيّارات، إلا أن هذا النموذج يسبب مشكلة لشركة "تيسلا"، وللعديد من مصنِّعي السيّارات الآخرين، وخاصّة بالنسبة إلى العلامات التجارية الأغلى ثمنًا، فما يَجذِب عملاء السيّارات الفاخرة هو متعة القيادة بها؛ وإذا لم يكن بالسيّارة مقود، وكان "السائق" لا يشارك في القيادة؛ فسيُلغَى عامل الجذب هذا. ولهذا السبب تَستخدِم شركتا "تيسلا"، و"جاجوار لاند روفر"، وشركات أخرى التكنولوجيا الموجودة في السيّارات ذاتية القيادة المتوفرة الآن؛ لتقديم الدعم فقط للسائق، الذي يظلّ رسميًّا هو المتحكم. ولذا.. كان براون مسؤولًا ـ رسميًّا ـ عن التحكم في المركبة التي مات بداخلها.

تعمل شركات السيّارات وشركات صناعة مكوّناتها جاهدةً على توليد نموذج عمل لمركبات ذاتية القيادة بشكل أكبر، ولكنْ مزوَّدة بمقود. ومن الواضح أنّها لا تزال حريصة على تقديم المساعدة إلى السائق، ممّا يعني وجود حاجة مُلِحَّة إلى البحث في الناحية التقنية، وناحية العلوم الاجتماعية. إذَن، ماذا سيكون ردّ فعل السائقين عندما تطلب منهم السيّارةُ تَوَلِّي القيادة؟ وكيف يمكن لعملية نقل التحكم تلك أن تتمّ بسلام؟ وكيف يمكن إيقاف السيّارة بأمان في حالة عدم تولِّي السائق القيادة؟

> "تقديم دعم **إضافي** ليس حلًّا **آمِنًا**".

أقومُ حاليًّا بإدارة تليسكوب آليّ في جُزُر الكناري، يبعد 3000 كيلومتر عن قاعدته في المملكة المتحدّة. ولا يشكل هذا النوع الآلي من التليسكوبات للعامة مخاطر مماثلة لتلك المصاحِبة لاستخدام المركبات ذاتية القيادة، لكن يوجد الكثير ممّا يمكن تَعَلُّمه من تجاربنا. لقد قمنا بإزالة جميع أنماط نقطة العُطْل المفردة تقريبًا، من خلال دفع تدفُّق المعلومات الحاسمة بمجموعات رباعية (عند فشل إحداها، يظل بوسعك استطلاع آراء الآخرين، وتمييز الخلل)، كما قمنا بتأسيس مسار عمل؛ لإعادة التشكيل باستخدام الذكاء الاصطناعي، يقوم بعزل الخلل، لحين إصلاحه. فقد كان بإمكان براون البقاء على قيد الحياة، لو كانت تلك المنظومات الرباعية موجودة؛ إذ كانت السيّارة ستتمكّن من خَفْض سرعتها، على الأقلّ في حال اضطراب الرؤية لدى أنظمة الاستشعار.

إنّ فلسفة دعم السائق فلسفة معيبة. وهناك طائرات تتضمن بالفعل تكنولوجيا يمكنها تحريك الطائرة من مدرج إلى آخر، ويقتصر دور الطيّار على تسيير الطائرة من الموقف، لكنْ في الغالب لا تُستخدم تلك الإمكانات، إذ إنّه مع انعدام دور الطيّارين في الرحلة، قد يُصابون بالملل؛ ويلتفتون إلى القيام بأشياء أخرى؛ ومن ثمّ يصبحون غير مستعدين تمامًا لتولِّي القيادة، إذا لزم الأمر. ولذا.. فتقديم دعم إضافي ليس حلًّا آمِنًا؛ فيجب على الناس إمّا أن يقودوا السيّارة، أو أن يتركوها لتقودهم.

تذكِّرنا الجهود التي تبذلها شركات السيّارات الفاخرة الآن بعَهْد ظهور الإنارة الكهربائية، حيث كانت تحاول شركات الغاز تحسين الإنارة من خلال تعديل أغطية الفوانيس بمنتجاتها، لكنْ لكي تتمكن السيّارات ذاتية القيادة من السير في الطريق بمهارة، يجب إلغاء المقود تمامًا، ليسلك سبيل الموديل "تي" من سيارات "فورد" التي عفا عليها الزمن. ■

جون باروخ مُحَاضِر أول في جامعة برادفورد، المملكة المتحدة، وأستاذ زائر في جامعة جنوب الصين للتكنولوجيا في جوانزو.
البريد الإلكتروني: j.e.f.baruch@bradford.ac.uk

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

نظرة شخصية على الأحداث



حماية الحرية الشخصية في المجتمعات الشبكية

يقول **كريستوف بوك** إن التوسع في قوانين وممارسات مكافحة التمييز يمكن أن يعوض فشل حماية البيانات، وانتهاك الخصوصية المرتبط بالتكنولوجيا الحديثة.

لَم تَعُد المراقَبة حكرًا على الأجهزة الحكومية، إذ طالتها موجات الخصخصة، واللامركزية، وباتت ـ في كثير من الأحيان ـ شأنًا ذاتيًّا؛ فالهواتف المحمولة تتبع الأماكن التي نذهب إليها، ومَن نتصل بهم. وكما تقيس الساعات الذكية معدل ضربات القلب، سوف تحصي علينا قريبًا إحساسنا بالسعادة، وبالغضب كذلك. وتتدفق البيانات الناتجة عن هذه المراقَبة إلى خوادم تجارية، عبر شبكات يمكن اختراقها بسهولة، وقد تُستغل من قِبَل شركات الدعاية، أو يتم نشرها عبر الشبكات الاجتماعية.

وقوانين حماية المعلومات ـ المعمول بها حاليًّا ـ ليست مهيأة لمواجهة هذا الواقع الجديد؛ إذ تم إصدارها في السبعينات والثمانينات من القرن الماضي في مجتمعات تنظر إلى قواعد البيانات الحكومية باعتبارها الأكثر احتياجًا إلى التأمين ضد انتهاك الخصوصية. ومن ثم، فإن تركيز هذه القوانين على المركزية، والتحفظ، والسرية يتعارض مع ما يشهده العالَم اليوم من إتاحة البيانات الشخصية على مواقع كثيرة، ونشرها بصورة متعمَّدة، ومُمَنْهَجَة، وتسريبها على نحو شبه دائم.

نبادر دائمًا إلى توجيه اللوم إلى المستخدِمين البسطاء، ومطوري البرامج المهمِلِين، فور وقوع أي عملية اختراق للبيانات الشخصية، إلا أن السلوكيات الفردية الواعية والحصيفة لا توفر الحماية الكافية من المراقبة الشبكية؛ فحتى لو توقفتُ عن استخدام هاتفي المحمول في التنقل عبر أرجاء العالم الرقمي والمادي، سأظل متاحًا في سجلات الأفراد مِن حولي.

وتتسبب وسائل التقنية الحديثة في تفاقم هذه المشكلة؛ فالكاميرات المحمولة على طائرات بدون طيار تراقبنا من أعلى، كما تسمح ألعاب الواقع المعزَّز ـ مثل لعبة "بوكيمون جو" ـ لمصمِّميها ـ أو الجهات الراعية لهم ـ بالتحكم في الأماكن التي نذهب إليها في العالم الحقيقي. كما أن أجهزة رصد تسلسل الحمض النووي المحمولة لن تسمح فقط بالمراقبة الفورية للمُمْرِضات التي تتنقل عبر الهواء، ومشروعات "علم الجميع" المثيرة، وإنما ستتعدّاها إلى الكشف عن بياناتنا الجينية لأي شخص يستطيع الحصول على الحمض النووي الخاص بنا.

وتساعدنا مجموعات البيانات الضخمة ـ باعتبارها ركائز لخوارزميات الحاسوب، وتقنيات التعلم الآلي ـ على ممارسة حياتنا اليومية؛ بما تقدمه من مقترحات بشأن أماكن تناول الطعام، والكتب التي نقرأها، وطرق المحافظة على الصحة، لكنْ مِن الممكن أيضًا أن تُستخدَم هذه البيانات ضدنا، وذلك عن طريق ـ على سبيل المثال ـ التنبؤ بالمخاطر الائتمانية، واحتمال ارتكاب الجرائم. يمكن أن تكون هذه التنبؤات بالغة الدقة، لكنها تقاوم سلوكيات غير معتادة، وغالبًا ما تمارس التمييز ضد الأقليّات. ويصعب تجنب هذا التمييز الناشئ؛ لأنه قلّما يُثبَت في الخوارزميات، وإنما ينشأ من بيانات التدريب المتحيزة. وقد يشرع الناس في "التصرف على نحو يوافق التيار السائد"؛ من أجل تأمين أنفسهم فقط، وهو سلوك غير مقبول في المجتمعات التعددية.

كيف نستطيع إذَن أن نحدّ من آثار مخاطر "البيانات الضخمة" على الحرية الشخصية، في الوقت الذي تتاح فيه البيانات الشخصية عن طريق مليارات الأجهزة المتصلة، وتغدو إحاطة البيانات بالسرية ضربًا من الوهم؟

يجب أن نتذكر أن حماية البيانات وسيلة نحو غاية، وليست غاية في حد ذاتها؛ إذ إننا لا نحمي البيانات بدافع دَفْع ضرر قد يلحق بها، وإنما من أجل حماية حقوق ومصالح أفراد، ربما يتسبب استخدام بياناتهم ـ على نحو معين ـ في إلحاق الضرر بهم. ربما تقدِّم هذه الملاحظة منطلقات الحل لمعضلة حماية الحرية الشخصية في عالَم تتلاشى فيه الخصوصية.

ومن ثم، فإن التوصل إلى حلول؛ للحدّ من الاستخدامات المؤذية للبيانات الشخصية، من شأنه أن يحدّ في المستقبل من خطورة تسريب هذه البيانات، ونشرها بطرق غير آمنة. ويمكننا التمييز بين المخاطر المالية الأساسية، التي تُعرَّف بأنها الأضرار التي يمكن التعويض عنها بشكل كامل، من خلال صرف تعويضات مالية (قد تكون كبيرة)، والمخاطر الاجتماعية، التي تؤثر في العلاقات بين الأفراد، على نحو لا يمكن تعويضه بمال.

تتضمن المخاطر المالية ارتفاع أقساط التأمين الصحي، من جرّاء زيادة عوامل الخطر الجينية، أو الانتظار لفترات طويلة على خدمة الخط الساخن، لأن العنوان يشير ـ أو إحدى خوارزميات التنبؤ ـ إلى عميل منخفض القيمة. ويمكن الحدّ من هذه المخاطر من خلال إصدار تشريعات صارمة لمكافحة التمييز وحماية المستهلك، لا سيما إذا اقترنت هذه التشريعات بتوفير الحماية اللازمة لمقدِّمي البلاغات، الذين يكشفون عن الانتهاكات، وتفعيل صناديق للحالات الحرجة؛ تقوم بالسداد عن المخالِفين الذين لا يستطيعون سداد التعويضات.

> "إنّ السلوكيات **الفردية** الواعية والحصيفة لا توفِّر الحماية الكافية من **المراقبة الشبكية**".

أما المخاطر الاجتماعية، فتتضمن عمليات التشهير، التي يُقْدِم عليها الأصدقاء والأقارب، عبر اختراق اللقطات المصورة، أو شن حملات ضد الآراء الشخصية، التي أصبحت متاحة للجميع. وتَصْعُب معالجة هذا النوع من المخاطر بإصدار تشريعات؛ إذ لا يُقْدِم الأفراد عادةً على مقاضاة أقاربهم؛ من أجل الحصول على معاملة منصفة وعادلة. ورغم ذلك.. يمكن أن تحدّ تشريعات مكافحة التمييز من المخاطر الاجتماعية، وذلك عبر إرسال رسائل رسمية تعبِّر عن استهجان أشكال تمييز معينة، وتسهم في خلق تأثير عميق في شتى أوجه حياتنا اليومية، التي لا يمكن السيطرة عليها بالقوانين والتشريعات.

وبهذه الطريقة.. تبرز قوانين مكافحة التمييز كحجر الزاوية في حماية الحريات الشخصية عند فشل حماية البيانات، وبالتالي انتهاك السرية من خلال النشر المفتوح للبيانات. ويؤكد ميثاق الحقوق الأساسية للاتحاد الأوروبي إمكانية توفير هذه الحماية، على المستويين القانوني، والسياسي، وحظر التمييز على أساس "الجنس، أو العِرْق، أو اللون، أو الأصل العرقي أو الاجتماعي، أو السمات الجينية، أو اللغة، أو الدين، أو العقيدة، أو الرأي السياسي، أو أيّ رأي آخر، أو الانتساب إلى أقليّة قومية، أو بسبب الممتلكات، أو الميلاد، أو الإعاقة، أو العمر، أو التوجه الجنسي". كما يوفر القانون الكندي لحقوق الإنسان مظلة حماية أكبر نسبيًّا، لكنَّ واقع الأمر يعاني من حالة من التشظي والانقسام في الولايات المتحدة، وحالة من القصور في الصين، واليابان، وعدد كبير من الدول النامية.

ويمكن أن يسهم العلماء في التأكيد على أن انتهاك الخصوصية باستخدام التقنية لا يؤدي بالضرورة إلى المساس بالحرية الشخصية، وذلك عن طريق ما يلي: أولًا، تقديم تقييم موضوعي لمخاطر انتهاك الخصوصية الحالية والمستقبلية، التي تسبِّبها التقنية الحديثة، والتأكيد على الحاجة إلى تجاوز التصور غير العملي بشأن حماية البيانات عن طريق السرية. ثانيًا، الدعوة إلى توفير حماية قانونية فعالة ضد التمييز في شتى أنحاء العالم. ثالثًا، التثقيف والنصح، والإرشاد؛ للتأكد من هيمنة الحقائق ـ وليس المخاوف ـ على الجدل السياسي. ■

كريستوف بوك باحث رئيس في مركز أبحاث الطب الجزيئي "CeMM"، التابع للأكاديمية النمساوية للعلوم في فيينا.
البريد الإلكتروني: cbock@cemm.oeaw.ac.at

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

أضـواء على الأبحـاث مقتطفات من الأدبيات العلميـة

فيزياء الجسيمات

لا توجد إشارة لنيوترينو جديد

لم يعثر الكاشف الضخم الموجود في القطب الجنوبي على أي إشارات لوجود نيوترينو "عقيم"، وهو جسيم يكاد يكون عديم الكتلة، يُعتقد أنه يتفاعل فقط من خلال الجاذبية.

وقد لاحت إشارات وجود هذا النوع الرابع المحتمَل من النيوترينو لأول مرة في التسعينات، وتمت تزكية الفكرة في مطلع هذا العام، من جرّاء تجربة أقيمت في الصين. وفي آخِر ما تم من تجارب، أحصى باحثون في مرصد النيوترينو "آيس كيوب" Ice Cube في القارة القطبية الجنوبية، بقيادة فرانسيس هالزين من جامعة ويسكونسن ماديسون، نيوترينوات من نوع معروف، تضرب الكاشف من أسفل.

إنّ ندرة هذه النيوترينوات عند مقادير معينة من الطاقة كان من شأنها أن تكشف عن تحوُّر بعض الجسيمات بشكل مؤقت إلى نيوترينوات عقيمة أثناء رحلتها خلال الكرة الأرضية؛ إلا أن الباحثين لم يعثروا على مثل هذه السمة في بياناتهم. ولم تستبعد التجربة وجود نيوترينوات عقيمة أثقل وزنًا. ومن شأن ظهور نوع رابع أن يطعن في النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات، الذي يسمح بوجود ثلاثة أنواع فقط من النيوترينوات.

***Phys. Rev. Lett.* 117, 071801 (2016)**



SUE CUNNINGHAM PHOTOGRAPHIC/ALAMY

تغير المناخ

الاحترار يقلص أعداد كائنات البحيرات

في واحدة من البحيرات العظمى في أفريقيا، تسببت درجات الحرارة المرتفعة في انخفاض عدد السَّمَك؛ مما يهدد مصادر الغذاء الأساسية للسكان المحليين.

فقد قام أندرو كوهين ـ بجامعة أريزونا في توسون ـ وزملاؤه بتحليل رواسب وحفريات مجمَّعة من بحيرة تنجانيقا (في الصورة)؛ لاستنتاج درجة حرارة المياه، وتقدير وفرة الأنواع التي تعود إلى أكثر من 1500 سنة. وقد وجدوا انخفاضًا في عدد السمك، والرخويات، والعوالق، التي سبقت الصيد التجاري، لكنها ارتبطت بالاحترار المستمر، وانخفاض إنتاج الطحالب على مدار السنوات الـ150 الماضية.

يحدّ الاحترار من امتزاج المياه العميقة ـ الغنية بالمغذيات ـ بالمياه الضحلة الغنية بالأكسجين؛ مما يحدّ بالتالي من نمو العوالق، وهي مصدر غذائي مهم لأنواع عديدة. كما يقلل هذا الامتزاج المحدود كذلك من مساحة المياه "المؤكسَجَة" في قاع البحيرة؛ مما يهدد العديد من أنواع السمك واللافقاريات.

***Proc. Natl Acad. Sci. USA* http://doi.org/bnqk (2016)**

علم البيئة الحضرية

مزيج كبير من الحشرات في الأحياء الغنية

منازلُ الأحياء الغنية تأوي مجموعةً أوسع تنوعًا من الحشرات والعناكب عن المنازل في المناطق الأقل ثراءً.

وغالبًا ما يكون تنوُّع النباتات وبعض الحيوانات والطيور في الأحياء ذات الدخل المرتفع أعلى من المناطق الأخرى. ولمعرفة ما إذا كان "تأثير الرفاهية" هذا يمتد إلى داخل المنازل، أم لا، قامت ميشا ليونج ـ من أكاديمية كاليفورنيا للعلوم في سان فرانسيسكو ـ وزملاؤها بجَمْع عيِّنات من كل مفصليّات الأرجل الحية والميتة، بما في ذلك الحشرات (يظهر **في الصورة** *Sciara hemerobioides*) والعناكب والديدان الألفية، من 50 منزلًا في رالي بولاية نورث كارولينا، والمنطقة المحيطة. وجد الباحثون أن تنوع مفصليات الأرجل زاد مع كبر حجم المنازل وتنوع النبات الموجود في المحيط، كما فوجئوا بوجود تأثير قوي لمتوسط الدخل في الحي.

مِن المحتمَل أن يكون للثراء تأثير على تنوع مفصليات الأرجل، بسبب التخطيط الحضري، وتنسيق المسطحات الخضراء على مستوى الأحياء.

***Biol. Lett.* 12, 20160322 (2016)**



علم المناعة السرطاني

الخلايا المناعية تُنْهَك في الأورام

بعد أن تغزو الأورام، تَفقِد الخلايا المناعية تدريجيًّا قدرتها على إنتاج الطاقة.

فقد قام جريج ديلجوف وزملاؤه ـ بجامعة بيتسبرج في ولاية بنسلفانيا ـ بدراسة الخلايا المناعية المعروفة باسم الخلايا التائية في الفئران التي تم زَرْع أورام فيها؛ ووجدوا أن الخلايا التائية داخل الأورام كانت أقل فعالية في امتصاص الجلوكوز من تلك الموجودة في أجزاء أخرى من الجسم. وأظهرت الخلايا التي تخترق الأورام أيضًا انخفاضًا في الكتلة الكلية للميتوكوندريا، وهي العضيّات المنتجِة للطاقة. كما احتوت على ميتوكوندريا غير طبيعية الشكل. وتم الربط بين عيوب الأيض، ومستويات منخفضة من بروتين PGC1α، الذي ينظم عملية نسخ الميتوكوندريا أثناء انقسام الخلية. وعندما استخدم الباحثون فيروسًا لزيادة التعبير عن هذا البروتين في الخلايا التائية وأعطوها للفئران الحاملة للأورام؛

IAN REDDING/GETTY

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

تقلصت الأورام أكثر؛ وعاشت الحيوانات لمدة أطول من تلك التي تَلَقَّت خلايا لم يحدث أنْ أُعيدت برمجتها.

يقول الباحثون إن من شأن تعزيز عمليات الأيض في الخلايا المناعية أن يساعد على تطوير علاجات السرطان.

Immunity **http://doi.org/bndn (2016)**

علم الأحياء المجهرية

البكتيريا السامة تتكيف بسرعة

يمكن للطحالب الزرقاء المخضرّة الضارة التكيف سريعًا مع البيئات المتغيرة.

ينتِج نوعٌ من أنواع بكتيريا الزراقم – *Microcystis* – التي تعمل بالتمثيل الضوئي – السموم، وينشرها في البحيرات ومستودعات المياه. ولاختبار كيفية استجابة السلالات المختلفة لمستويات ثاني أكسيد الكربون المتغيرة في الماء، قام جيف هويسمان وزملاؤه ـ بجامعة أمستردام ـ بالاحتفاظ بسلالات مختلطة في المختبر، وقاموا بتهوية المياه بفقاعات تحتوي على كميات منخفضة ـ أو مرتفعة ـ من ثاني أكسيد الكربون. وعند المستويات المنخفضة، هَيْمَنَت السلالات التي تتسم أنظمة امتصاص الكربون فيها بالكفاءة، عندما كان الكربون محدودًا، لكنْ مع ارتفاع مستوى ثاني أكسيد الكربون؛ حلّت السلالات التي تتمتع بنظم ذات معدلات امتصاص عالية محلّ السلالات الأخرى. وقام الفريق بدراسة بكتيريا *Microcystis* المجمَّعة من بحيرة كينيمرمير في هولندا؛ فوجدوا أن توافر كل سلالة يتغير مع التغيرات الموسمية في توافر ثاني أكسيد الكربون.

قد تكون بكتيريا الزراقم أكثر مهارةً في التعامل مع المستويات العالية من ثاني أكسيد الكربون عما كان يُعتقد في السابق.

Proc. Natl Acad. Sci. USA **http://doi.org/bnf9 (2016)**

علم البيئة الزراعية

علاقة المبيدات بانخفاض أعداد النحل

ترتبط فئة من المبيدات، تُسمى "نيونيكوتينويد"، بانخفاض أنواع النحل البري في جميع أنحاء المملكة المتحدة. فقد أظهرت دراسات صغيرة وقصيرة المدى أن المواد الكيميائية ـ التي استُخدمت لأول مرة على نطاق واسع في البلاد في عام 2002، قبل أن يعلِّق الاتحاد الأوروبي استخدامها لمدة سنتين في عام 2013 ـ يمكن أن تضر بعملية تكاثر النحل. وللبحث في الآثار طويلة الأجل التي تسبِّبها على مستوى تجمُّعات النحل، قام بن وودكوك ـ من مركز "NERC" لعلوم البيئة والهيدرولوجيا في والينجفورد بالمملكة المتحدة ـ وزملاؤه بمقارنة خرائط استخدام المبيدات على محاصيل بذور اللفت (الكانولا) مع مسوح تمَّت على 62 نوعًا من النحل البري في جميع أنحاء المملكة المتحدة، من عام 1994، حتى عام 2011. وقد وجدوا علاقات عديدة بين التعرض لمادة "نيونيكوتينويد"، وانخفاض أعداد النحل الذي يتغذى على المحاصيل، وحتى بعض الأنواع الأخرى التي لا تقوم بذلك.

يُقدِّر الفريق أن المواد الكيميائية ترتبط بنسب انخفاض تزيد على 10% في أعداد 24 نوعًا من النحل.

Nature Commun. **7, 12459 (2016)**

علم الحيوان

سَمَك قرش يعيش لقرون

تمّ اكتشاف نوع من سَمَك القرش في المياه القطبية، قد يعيش لمدة تصل إلى 400 سنة، مما يجعله أطول الفقاريات المعروفة عمرًا.

قَدَّر يوليوس نيلسِن ـ بجامعة كوبنهاجن ـ وزملاؤه أعمار 28 سمكة قرش جرينلاند أنثى (*Somniosus microcephalus*؛ **في الصورة**)، عن طريق تأريخ نوى عدسة العين بالكربون المشع. وخلَصوا إلى أن هذه الحيوانات يمتد عمرها إلى 272 سنة على الأقل، وأن الإناث منها لا تصل إلى مرحلة البلوغ الجنسي، إلا بعد أن يتجاوز عمرها 100 سنة.

تثير النتائج مخاوف بشأن الحفاظ على سَمَك قرش جرينلاند، لأن أي نوع يستغرق وقتًا طويلًا بهذا الشكل ليبدأ التكاثر قد يكون معرَّضًا لخطر استغلاله بشكل مفرط مِن قِبَل مصائد السمك. كما يَعْلَق الحيوان في كثير من الأحيان ـ دون قصد ـ في الشِّبَاك المنصوبة لصيد أنواع أخرى.

Science **353, 702–704 (2016)**

JULIUS NIELSEN

علم الأحياء الخلوي

"كريسبر" يغيِّر نوع الخلية

من خلال تفعيل مجموعة من الجينات باستخدام أداة استهداف الجينات "كريسبر-كاس9"، قام باحثون بتحويل خلايا نسيج ضامّ، تُسمَّى الخلايا الليفية، مباشرةً إلى خلايا عصبية.

إنّ إعادة برمجة خلايا ذات هوية معينة إلى أخرى بشكل مباشر قد تقدِّم ذات يوم وفرةً في المواد المستخدَمة في بحوث الأمراض، أو في العلاجات، إلا أن العلماء يواجهون تحديًا تقنيًّا؛ إذ إن الجينات اللازمة للهوية الجديدة يجب الإبقاء عليها في وضع فعّال لفترة طويلة. ولحلّ هذه المعضلة، قام تشارلز جيرسباك ـ بجامعة ديوك في دورهام بولاية نورث كارولينا ـ وزملاؤه بتنشيط ثلاث جينات، من خلال نظام قائم على تقنية "كريسبر-كاس9"؛ ما نتج عنه تحويل خلايا ليفية جنينية لفأر إلى خلايا عصبونية، مع الحفاظ على فعالية الجينات طوال العملية.

قد توفِّر هذه التقنية وسيلة لإعادة برمجة الخلايا، دون الحاجة إلى إدخال جينات إلى الجينوم.

Cell Stem Cell **http://doi.org/bn22 (2016)**

علم الكواكب

وُدْيَان مليئة بالميثان على القمر "تيتان"

تشقّ سطح أكبر أقمار كوكب زحل وُدْيَان تغمرها الهيدروكربونات السائلة، وفقًا لبيانات من مركبة الفضاء "كاسيني" Cassini، التابعة لوكالة "ناسا".

فقد قام فاليريو بوجيالي ـ من جامعة سابينزا في روما ـ وفريقه باستخدام جهاز رادار على متن المركبة "كاسيني"؛ لقياس المرتفعات على سطح قمر "تيتان" Titan، ورسم خريطة لشبكة قنوات ضيقة، لها جوانب شديدة الانحدار، وتُسمَّى "فيد فلومينا" Vid Flumina. يصل عمق بعض تلك الوديان إلى 570 مترًا، ويبلغ متوسط درجات الحرارة السفلى على القمر 179- درجة مئوية؛ ولذا.. لم يكن واضحًا في السابق ما إذا كانت المادة المظلمة الموجودة في هذه الوديان هي بمثابة جليد، أم لا، غير أن العلماء وجدوا أن الميثان السائل يتدفق خلال القنوات، ويصبّ في البحر الشمالي "ليجيا ماري" Ligeia Mare.

وبخلاف كوكب الأرض، يُعَدّ قمر "تيتان" الجسم الكوكبي الوحيد في النظام الشمسي الذي يحدث به تآكل نشط بفعل السائل الموجود على سطحه.

Geophys. Res. Lett. **http://doi.org/bn2p (2016)**

المواد النانوية

ضوء الشمس يساعد في تنقية المياه

هناك أغشية نانومترية السُّمْك، بإمكانها تجميع الضوء الطبيعي، واستخدامه لتطهير المياه بشكل سريع.

وتُعَدّ أشعة الشمس وسيلة مفيدة لتنقية المياه، لا سيما في البلدان التي تفتقر إلى مصادر موثوقة للطاقة. وتُستخدَم الأشعة فوق البنفسجية على نطاق واسع لقتل الميكروبات، لكنها تمثل 4% فقط من الطيف الشمسي.

فقد قام يي كوي وزملاؤه ـ في جامعة ستانفورد في ولاية كاليفورنيا ـ بإنتاج غشاء مكوَّن من طبقات من ثاني كبريتيد الموليبدينوم مصطفَّة بشكل عمودي، يقوم بالتقاط الضوء المرئي، مستفيدًا من حوالي 50% من إجمالي الطاقة الشمسية، ومن ثم، يدفع الضوء الأغشية إلى توليد جزيئات الأكسجين التفاعلي، التي تقتل المُمْرِضات التي تُنقَل عن طريق المياه.

وبوضع الغشاء في مياه تحتوي على بكتيريا *Escherichia coli* وتعريضه للضوء؛ تم تطهير المياه بشكل شبه كامل في غضون 20 دقيقة؛ بينما كانت الأنظمة المستخدَمة في السابق تحتاج من 30 إلى 60 دقيقة لأداء العمل ذاته.

Nature Nanotechnol. **http://dx.doi.org/10.1038/nnano.2016.138 (2016)**

علم الاقتصاد

أقمار صناعية ترسم خريطة لمناطق فقيرة

استخدم علماء الحاسوب تقنيات التصوير بالأقمار الصناعية، وتقنيات تعلُّم الآلة؛ لرسم خرائط مفصلة للمناطق التي يتفشى فيها الفقر.

فقد رَكَّز نيل جين وزملاؤه ـ بجامعة ستانفورد في كاليفورنيا ـ على نيجيريا، وتنزانيا، وأوغندا، ومالاوي، ورواندا، وقاموا بدمج مجموعات مختلفة من البيانات، بما في ذلك صور نهارية تحدِّد بعض الملامح، كالطرق الممهدة، والأسطح المعدنية؛ لتقدير الاستهلاك المنزلي، ودخل الأسرة على المستوى المحلي. وبالنسبة إلى تحديد المناطق التي تقل فيها مستويات الدخل عن مستويات خط الفقر العالمي ـ وهو 1.90 دولار أمريكي للشخص الواحد في اليوم ـ تتفوق خوارزمية الفريق على خرائط الإضاءة الليلية (وهو مؤشر بديل ـ لكن محدود ـ للنشاط الاقتصادي).

كما تستطلع الخرائط أيضًا المناطق التي يصعب الوصول إليها، ومِن بينها المناطق التي لم تصل إليها المسوح المنزلية، مثل تلك التي أجراها البنك الدولي، وهي عالية التكلفة، وتُجرى بشكل غير منتظم.

قد تكون هذه الطريقة مفيدة لاستهداف البرامج الاجتماعية، وتحديد زمان ومكان فشلها.

***Science* 353, 790–794 (2016)**

JEREMY HORNER/CORBIS/VCG/GETTY

علم المياه

إمدادات المياه بجنوب آسيا في خطر

قد تكون إمدادات المياه الجوفية في شمال الهند، وفي باكستان، ونيبال، وبنجلاديش أكثر عرضة لخطر التلوث عن خطر النفاد.

يشمل الحوض الهندي الجانجي نُظُم أنهار السند، والجانج، وبراهمابوترا، وهو أحد خزانات المياه العذبة الأكثر استخدامًا في العالم. وأشارت بيانات أقمار صناعية سابقة ذات دقة منخفضة إلى أن معدلات الاستهلاك الحالية غير مستدامة. ولذا.. لدراسة المنطقة بمزيد من التفصيل، قام آلان ماكدونالد ـ بهيئة المسح الجيولوجي البريطانية في إدنبرة ـ وزملاؤه بدراسة سجلات حوالي 3,500 بئر مياه، وبيانات أخرى ذات دقة عالية؛ لتقدير مستويات المياه الجوفية وجودتها في مسافة الـ200 متر العليا من المستودع. وجد الفريق أن 60% من النظام كان يحوي مستويات عالية من الملح والزرنيخ والملوثات الأخرى، بيد أن مستوى المياه في 70% من المستودع كان مستقرًّا؛ بل وارتفع بين عامي 2000، و2012.

ويقترح الباحثون مراقبة نوعية المياه الجوفية؛ من أجل توفير البيانات لصانعي السياسات.

***Nature Geosci*. http://dx.doi.org/10.1038/ngeo2791 (2016)**

علم الإنسان

البشر الأوائل كانوا يهتمون بالملابس

اكتشف فريقان مستقلان قِطَعًا من الملابس التي ارتداها البشر الأوائل؛ لمواجهة الطقس الأوروبي البارد.

فقد قام مارك كولارد ـ من جامعة سايمون فريزر في مدينة برنابي بكندا ـ وزملاؤه بمقارنة الحيوانات التي استخدمتها الجماعات الحديثة من السكان المحليين؛ لصنع ملابس مناسبة للطقس البارد، باستخدام أنواع العظام التي عُثر عليها في مواقع البشر الأوائل والإنسان البدائي. كانت بقايا الحيوانات ذات الفراء ـ مثل الثعالب، والأرانب ـ أكثر شيوعًا في المواقع التي كان يسكنها البشر الأوائل، في حين تم العثور على عظام غزلان، وبقر، وحيوانات أخرى في نوعي المواقع. ويشير ذلك إلى أن البشر الأوائل استخدموا الفراء لصنع ملابس مخصَّصة للطقس البارد، بينما اعتمد البشر البدائيون على أردية أبسط صُنعت من جلد الحيوانات، وفقًا لما ذكره الباحثون.

وفي بحْث منفصل، قام نيال أوسوليفان ـ من معهد المومياوات ورجل الجليد في بولسانو في إيطاليا ـ وفريقه بوضع تسلسل الحمض النووي الخاص بالميتوكوندريا من ثياب كان قد ارتداها أوتزي (الاسم الذي أُطلق على مومياء جليد تبلغ من العمر 5,300 سنة). صنع أوتزي معطفه ولباسه الداخلي (**في الصورة** إلى اليسار) ومئزره من جلود الماشية والأغنام والماعز المحلية، بينما صنع قبعته وكنانة السهام الخاصة به (**في الصورة** على اليمين) من فراء الدب البني، وجلد اليحمور.

***J. Anthropol. Archaeol*. http://doi.org/bn82 (2016); *Sci. Rep*. 6, 31279 (2016)**



INSTITUTE FOR MUMMIES AND THE ICEMAN

علم الجينوم

الطب الدقيق أقل دِقّة للبعض

إن عدم وجود تنوع عرقي في الأشخاص الذين تم تحديد تسلسل الجينوم لديهم يتسبب في تعقيد الطب الدقيق لذوي الأصول غير الأوروبية.

فقد قام ديفيد جولدستين ـ من جامعة كولومبيا في مدينة نيويورك ـ وسلافيه بتروفسكي ـ من مستشفى رويال ملبورن في أستراليا ـ بفحص البيانات الواردة من رابطة تجميع الإكسوم (ExAC)، التي تحتوي على تتابع من 60,252 شخصًا، 60.9% منهم لديهم أصول أوروبية. وعندما قاموا بمقارنة المتغيرات الجينية لمجموعة مكونة من 5,094 شخصًا بأخرى وُجدت في مجموعة بيانات رابطة تجميع الإكسوم، ومجموعات البيانات الأخرى؛ أسفرت المقارنات عن قائمة أقصر من المتغيرات المحتمَلة المسبِّبة للمرض لدى الأشخاص ذوي الأصول الأوروبية (6.6 في المتوسط) عن ذوي الأصول غير الأوروبية (9.9 إلى 12.7 متغير مرشح، بناء على العِرْق).

يقول الباحثون إن الطب الدقيق أكثر دقة للأشخاص ذوي الأصول الأوروبية عن ذوي الأصول غير الأوروبية، بسبب

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

عدم كفاية العيّنات المأخوذة من الشعوب غير الأوروبية.
Genome Biol. **http://doi.org/bphp (2016)**

NATURE COMMUN.

فيزياء الجسيمات

البحث عن النيوترينو يقترب من نهايته

يقترب العلماء الآن من اكتشاف ما إذا كانت النيوترينوات، والنيوترينوات المضادة هي نفسها (وتعرف باسم نيوترينوات "ماجورانا")، أم لا.

قد تفسِّر تلك النظرية التي طرحها عالِم الفيزياء الإيطالي إتوري ماجورانا في الثلاثينات السبب وراء كون النيوترينوات لديها كتلة، وسبب احتواء الكون على كمية من المادة أكبر من كمية المادة المضادة. فقد قامت أزوسا جاندو ـ من جامعة توهوكو في سينداي في اليابان ـ وزملاؤها في فريق التعاون KamLAND-Zen بإجراء البحث الأكثر حساسية حتى الآن للاضمحلال الإشعاعي الدال على وجود نيوترينوات ماجورانا، وذلك باستخدام منشأة رصد تحت الأرض، تحوي بالونًا ضخمًا مليئًا بالزينون المنقَّى.

تقيِّد نتائج الفريق ـ برغم كونها سلبية ـ الحد الأعلى لكتلة نيوترينوات ماجورانا عند نطاق 61-165 ملِّي إلكترون فولت. ومع ذلك.. يقول الباحثون إنه يجب زيادة حساسية الكاشف؛ لإثبات نظرية ماجورانا.
Phys. Rev. Lett. **117, 082503 (2016)**

علم خواص المادة

إنتاج كميات كبيرة من مادة الصدف

يمكن إنتاج مادة الصدف الاصطناعية عن طريق محاكاة عملية التمعدن الطبيعية.

يتمتع عِرْق اللؤلؤ ـ أو الصَّدَف ـ بقوة ملحوظة، مع كونه قابلًا للتحلل. ومع ذلك.. فإن بِنْيَته الطبقية المعقدة ـ التي تتشكل فيها الصفائح المعدنية في سقالة عضوية ـ تجعل من الصعب إعادة إنتاجه بكميات كبيرة. فقد قام شو هونج يو ـ من جامعة العلوم والتكنولوجيا الصينية في هيفي ـ وزملاؤه ببناء مصفوفتهم الخاصة عن طريق إنتاج ألواح من الجليد، قامت بضغط محلول من البوليمر الحيوي الكيتوزان؛ لتكوين طبقات صلبة، ثم قاموا بضخ مواد في هذه السقالة؛ بهدف تكوين كربونات الكالسيوم، وضغطوا كومة اللوائح مع بعضها لتشكّل الصَّدَف الاصطناعي.

يمتلك هذا النوع الاصطناعي من الصَّدَف خصائص ميكانيكية مشابهة لنظيره الطبيعي، ويستغرق نموه أسبوعين فقط. يقول الباحثون إنه يمكن استخدام هذه الطريقة لإنتاج مواد قد تُستخدم في صناعة معدات الفضاء، أو الدروع.
Science **http://doi.org/bpk2 (2016)**

الأيض

الحّد من السعرات يحوِّل لون الدهون

ربما تتسبب الحِمْيات ذات السعرات الحرارية المنخفضة جدًّا ـ التي تَبَيَّن أنها تطيل عمر بعض الثدييات ـ في تحوُّل الدهون البيضاء المخزِّنة للطاقة في الفئران إلى دهون حارقة للطاقة، يميل لونها إلى الصفرة.

إنّ الحدّ من السعرات الحرارية، وتراكم الدهون المائلة إلى الصفرة، والدهون البُنِّيَّة قد ارتبط بعدة فوائد أيضية، كزيادة الحساسية للإنسولين مثلًا. وللبحث عن صلة بين الاثنين، قام ميركو ترايكوفسكي ـ من جامعة جنيف في سويسرا ـ وزملاؤه بخفض السعرات الحرارية المقدمة إلى فئران لها وزن طبيعي، وأخرى تعاني من السمنة بنسبة 40%؛ فوجدوا أن ذلك قد حَفَّز تحوّل الدهون من اللون الأبيض إلى لون مائل إلى الصفرة في المجموعتين.

كما تَسَبَّب الحَدّ من السعرات أيضًا في رفع مستويات بروتينات مناعية معينة، تُسمى "سيتوكينات". أما الفئران التي تمت هندستها وراثيًّا، كي تفقد القدرة على الاستجابة إلى تلك "السيتوكينات"، فلم يتحول لون الدهون لديها، استجابةً للحدّ من السعرات، ولم تنتفع بكثير من الفوائد الأيضية.
Cell Metab. **http://dx.doi.org/10.1016/j.cmet.2016.07.023 (2016)**

الحفظ البيئي

اتساع بصمة الإنسان بشكل متفاوت

اتسعت بصمة الإنسان على البيئة العالمية بنسبة 9% فقط بين عامي 1993، و2009، رغم نمو عدد سكان العالم بنسبة 23%، والاقتصاد بنسبة 153% خلال تلك الفترة، إلا أن هذا التأثير يتفاوت من منطقة إلى أخرى.

ففي دراسة سابقة حول آثار البشرية على الكرة الأرضية، تم تحديد كمية المناطق المبنية، والأراضي الزراعية، والكثافة السكانية، وغيرها من المتغيرات؛ باستخدام بيانات الأقمار الصناعية والمسوح من عام 1993. ولتحديث هذا العمل، قام أوسكار فنتر ـ من جامعة شمال كولومبيا البريطانية في مدينة برينس جورج في كندا ـ وزملاؤه بمقارنة هذه الأرقام ببيانات عام 2009.

وجد الباحثون أن المناطق التي تتمتع بالمستويات الأعلى من التنوع الحيوي ـ بما في ذلك مناطق استوائية عديدة ـ أظهرت أسرع معدل لاتساع بصمة الإنسان (في الصورة، مبين باللونين الأحمر والبرتقالي). أمّا الدول الغنية، وتلك التي تسيطر بشكل قوي على الفساد، وترتفع فيها معدلات التحضُّر، فقد ظهر فيها أقل معدل تزايد لتلك الآثار (مبينة باللون الأخضر).
Nature Commun. **7, 12558; Sci. Data 3, 160067 (2016)**

تغير بصمة الإنسان
تحسن ■ تحسن طفيف ■ تدهور طفيف ■ تدهور ■ متدهور جدًا

علم الأعصاب

خداع الذاكرة يخفف من الرهاب

إن استرجاع الذكريات المخيفة قبل وقت قصير من تَلَقِّي العلاج النفسي قد يساعد الناس على تقليل مخاوفهم المزمنة؛ فبمجرد استرجاع الذكرى، يمكن اعتراضها قبل أن ترسخ، وإعادتها إلى مركز التخزين طويل الأجل في الدماغ. ففي دراسة أُجريت على أشخاص كانوا يعانون من الخوف من العناكب طوال حياتهم، قام يوهانس بيوركستراند وزملاؤه ـ بجامعة أوبسالا في السويد ـ بعرض صور عناكب على مجموعة من المتطوعين؛ لتنشيط ذكرى مخاوفهم منها، ثم بدأوا في إجراءات العلاج بالتعرض (من خلال تقديمهم صور عناكب بشكل متكرر)، إما بعد مرور 10 دقائق، أثناء فترة إعادة ترسيخ الذكرى، أو بعد ست ساعات، أي بعد انتهاء عملية الترسيخ.

وفي مقارنة بين المجموعتين في اليوم التالي، أَبْدَى أولئك الذين قُدم لهم العلاج في غضون 10 دقائق نشاطًا منخفضًا في اللوزة ـ وهي منطقة في الدماغ، تتوسط نقل شعور الخوف ـ أثناء رؤية صور للعناكب. وكانت هذه المجموعة أيضًا أكثر احتمالًا لمشاهدة صور عناكب في مقابل مبلغ من المال.
Curr. Biol. **http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2016.08.022 (2016)**

عدوى

آثار "زيكا" المنتقل عبر الاتصال الجنسي

قد تتسبب العدوى المهبلية بفيروس "زيكا" في الفئران الحوامل في الحّد من نمو الجنين، أو إصابة مخه بالعدوى، أو موته.

أُصيب بعض الناس بفيروس "زيكا" عن طريق ممارسة الجنس، وليس لدغات البعوض. ولدراسة آثار الفيروس إثر نقله بهذه الطريقة، قام فريق بقيادة أكيكو إيواساكي ـ من كلية الطب بجامعة ييل في نيو هيفن في كونيتيكت ـ بخلق نموذج فأري؛ للنقل المهبلي للفيروس. ووجد الباحثون أن هذا النمط من العدوى تَسَبَّب في ظهور الأمراض في أجنة أمهات تتمتع بمناعة طبيعية، بينما أشارت دراسات سابقة إلى أن عدوى "زيكا" لا يمكنها البقاء لفترة طويلة في مثل هذه الحيوانات عند حَقْن الفيروس في الجلد.

تشير النتائج إلى احتمال أن يكون الجهاز التناسلي للأنثى بمثابة موقع معرَّض بشكل خاص للإصابة بالفيروس.
Cell **http://dx.doi.org/10.1016/j.cell.2016.08.004 (2016)**

ARABICEDITION.NATURE.COM
يمكنك متابعة التحديث الأسبوعي للأبحاث من خلال التسجيل على:
go.nature.com/hntmqc

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

ثلاثون يومًا موجز الأخبار

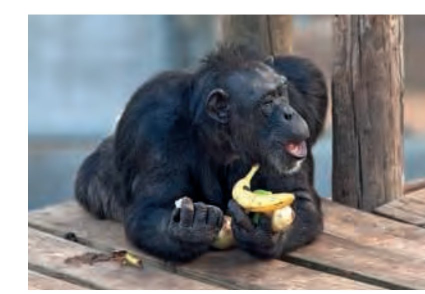
سياسات

حقوق الاتحادات

قضى مجلس عُمّالي وطني أمريكي بوجوب الاعتراف بالخريجين، الذين يعملون مدرسين أو باحثين مساعدين بجامعات خاصة، ضمن الموظفين؛ وبالتالي يحق لهم تكوين اتحادات. وتُعَدّ اتحادات الخريجين شائعة بالفعل في المؤسسات الحكومية. فقد ارتبط الحُكْم الذي صدر في الثالث والعشرين من أغسطس الماضي بسعي مجموعة من الطلبة ـ من جامعة كولومبيا في مدينة نيويورك ـ للاعتراف باتحادهم. وعلى مدار السنوات الأخيرة، أُثير جدل حول حقوق الطلبة الخريجين، حيث يعمل الكثير منهم بالتدريس، بينما يكملون دراستهم للحصول على درجاتهم العلمية.

تَقاعُد الشمبانزي

أصدرت معاهد الصحة الوطنية الأمريكية "NIH" خطة طال انتظارها، تهدف إلى إحالة حيوانات الشمبانزي المستخدَمة في الأبحاث إلى التقاعد بصورة نهائية. فبحسب الجدول المعلَن في الحادي عشر من أغسطس الماضي، سوف يتم نقل كل حيوانات الشمبانزي المملوكة للمعاهد، والبالغ عددها 360 حيوانًا، إلى المأوى المموَّل فيدراليًّا "تشيمب هافين" Chimp Haven (**في الصورة**) في لويزيانا بحلول عام 2026. أمّا حيوانات الشمبانزي، التي تعيش في مراكز بحثية في ولايتي تكساس، ونيو مكسيكو، فسيتم نقلها في مجموعات صغيرة؛ بهدف الإبقاء على العائلات والدوائر الاجتماعية مترابطة. يتسع مأوى "تشيمب هافين" لحوالي 75 شمبانزي فقط، ويتم توسيعه حاليًّا؛ لتوفير مكان لمئة إضافية من حيوان الشمبانزي، فضلًا عن الأماكن التي ستخلو، نتيجة للوفيات المتوقَّعة بين حيوانات الشمبانزي المُسِنَّة.



MELANIE STETSON FREEMAN/CHRISTIAN SCIENCE MONITOR/GETTY



JAMES WATT/PMNM

أوباما ينشئ أكبر متنزّه بحري

أعلن الرئيس الأمريكي باراك أوباما ـ في السادس والعشرين من أغسطس الماضي ـ عن إنشاء أكبر محمية بحرية في العالم، وذلك بإجراء عمليات توسعة ضخمة لمتنزّه النصب التذكاري القومي البحري الأمريكي (Papahānaumokuākea)، الواقع شمالي غرب جزر هاواي. ستتضمن هذه الخطوة التوسعية زيادة مساحة المتنزّه من 360 ألف كيلومتر مربع ـ وهذه هي مساحته الحالية ـ إلى 1.5 مليون كيلومتر مربع. وتُعَدّ المنطقة موطنًا للحياة الفطرية، وتضم: الحيتان، والشعاب المرجانية، وملايين الطيور البحرية، وفقمة مونك هاواي المهدَّدة بالانقراض (*Neomonachus schauinslandi*)، في الصورة).

شاحنات تراعي البيئة

أعلنت الحكومة الأمريكية ـ في السادس عشر من أغسطس الماضي ـ عن تطبيق معايير اقتصادية أشد صرامة على الوقود المستخدَم في سيارات النقل، والحافلات، والشاحنات المقفلة. وبالرغم من أن مركبات النقل الثقيل تمثل نسبة 5% فقط من حركة المرور، إلا أنها تستهلك وقودًا بنسبة تزيد على 20% من كميات الوقود المستهلَكة في قطاع النقل، وتسهم بنسبة مشابِهة في إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. وستُطبَّق هذه المعايير على المركبات الجديدة بشكل تدريجي، بحيث تزيد شدتها سنويًّا على مدار العقد القادم.

شخصيات

رئيس معهد NICHD

أعلنت معاهد الصحة الوطنية ـ في الخامس والعشرين من أغسطس الماضي ـ عن تعيين عالمة الوراثة الطبية ديانا بيانتشي لشَغْل منصب الرئيس الجديد للمعهد الوطني الأمريكي لصحة الطفل والنمو البشري "NICHD". ستحل بيانتشي محل آلان جاتماتشر، الذي تقاعد في سبتمبر من عام 2015. وبصفتها مديرة المعهد، ستشرف بيانتشي على الميزانية السنوية للمعهد، البالغة 1.3 مليار دولار، وتشمل مشروع المشيمة البشرية، وكذلك المشاركة في دراسة مطولة جديدة لمعاهد الصحة الوطنية، بعنوان: "التأثيرات البيئية على نتائج صحة الأطفال". وسوف تشغل بيانتشي ـ التي تدرس حاليًّا تشخيص ما قبل الولادة ـ منصبها الجديد في الواحد والثلاثين من أكتوبر الحالي.

أبحاث

صراع حول براءة اختراع

أشعلت اتهامات جديدة المعاركَ مرة أخرى بشأن صاحب براءة اختراع تقنية التحرير الجيني الواعدة "كريسبر-كاس9". فقد كشفت جامعة كاليفورنيا ـ في الخامس عشر من أغسطس الماضي ـ عن رسالة إلكترونية، تُعَدّ جزءًا من قضية براءة اختراع لم يُفصَل فيها بعد، يدَّعي فيها شواي ليانج لين ـ الذي كان طالبا بمعهد برود في كمبريدج بولاية ماساتشوستس ـ أن مختبر المعهد استند في تأسيسه لتقنية التحرير الجيني إلى الاكتشافات التي جرت في جامعة كاليفورنيا في بيركلي، وذلك على عكس ما يَدَّعِيه معهد برود. أنكر برود ادعاءات لين، وذكر أن لين استخدم البريد الإلكتروني نفسه للتقدم للحصول على وظيفة في جامعة كاليفورنيا. وقد أوردت

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

الخطاب ـ للمرة الأولى ـ دورية "تكنولوجي رفيو"، التابعة لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا.

SBNA

إتاحة البيانات

يستطيع علماء النفس الآن أن يشاركوا بيانات أبحاثهم ونتائجها الأولية مع زملائهم قبل النشر الرسمي. ففي الخامس عشر من أغسطس الماضي، أُدخلت الورقة البحثية الأولى إلى خادم أبحاث ما قبل النشر الجديد PsyArXiv، المتخصص في العلوم النفسية، وهي بمثابة دراسة مقارنة للسمات الشخصية، أُجريت على 8,600 طالب في الولايات المتحدة (K. S. Corker and B. Donnellan Preprint at PsyArXiv http://osf.io/xeg7y; 2016). وقد أُطلق مستودعان مشابهان لخادم الفيزياء الناجح arXiv في وقت سابق من العام الحالي، أحدهما للعلوم الاجتماعية، والآخر للهندسة، بالإضافة إلى ثالث ـ سيُطْلَق قريبًا ـ مخصَّص للكيميائيين.

الصين تستعد للمريخ

تمضي إدارة الفضاء الوطنية الصينية قدمًا في خططها الرامية إلى إرسال عربة فضائية إلى المريخ في عام 2020. وقد كشف المسؤولون ـ في الثالث والعشرين من أغسطس الماضي ـ عن تفاصيل المركبة الفضائية، التي سوف تَستكشِف منطقة منخفضة الارتفاع في نصف الكرة الشمالي للمريخ. تم تصميم المسبار ذي العجلات الست ـ الذي ستُجرى مسابقة جماهيرية لتسميته ـ للعمل لمدة ستة أشهر على الأقل، وتشمل حمولاته ـ التي يبلغ عددها ثلاث عشرة حمولة ـ رادارًا لاختراق سطح المريخ؛ لدراسة طبقات الصخور. وتهدف هيئات أخرى ـ منها وكالة "ناسا"، ووكالة الفضاء الأوروبية ـ إلى إرسال عربات فضائية أخرى إلى المريخ، وذلك بالتزامن مع الإطلاق المزمع في عام 2020.

تجربة التاكسي الآلي

أعلنت شركة التقنية "نوتونومي" nuTonomy ـ في الخامس والعشرين من أغسطس الماضي ـ عن أنها ستبدأ في اختبار التاكسي ذاتي القيادة في سنغافورة، حيث سيتمكن العملاء من استخدام تطبيق على الهواتف الذكية؛ لطلب إحدى هذه السيارات لتوصيلهم. ستوفر الشركة ـ التي تقع في كمبريدج بولاية ماساتشوستس، وفي سنغافورة ـ مهندسًا على متن السيارة، لتولِّي القيادة، إذا لزم الأمر. يهدف المشروع ـ الذي تشارك فيه هيئة النقل البري في سنغافورة ـ إلى الإطلاق الكامل لخدمة سيارات التاكسي ذاتية القيادة في عام 2018. وكشفت كل من شركة "أوبر" الأمريكية لخدمات نقل الركاب، وشركة "فولفو" لصناعة السيارات أنهما ستبدآن تجارب مماثلة في بيتسبرج في بنسلفانيا.

حرب بسبب عاصفة!

كشفت دراسة ـ للمرة الأولى ـ عن أنّ عاصفة شمسية حدثت في مايو من عام 1967، كادت أن تتسبب في إطلاق الجيش الأمريكي طائراته للحرب، لولا أن تنبَّه باحثون في القوات الجوية إلى أن الإنذارات المبكرة التي أطلقتها الرادارات البالستية سَبَّبَتها جسيمات شمسية نشطة، وليست تهديدات الاتحاد السوفييتي (D. J. Knipp *et al.* *Space Weather* http://doi.org/bn5x; 2016). ومنذ تلك الواقعة، بدأت وزارة الدفاع في الاستثمار بشكل مكثف في التنبؤ بالأحوال الجوية الفضائية. وقد أفصح فريق بقيادة ديلوريس نيب ـ عالِم الفيزياء الفلكية بجامعة كولورادو بولدر ـ عن هذه الواقعة أثناء اجتماع بالجامعة في العاشر من أغسطس الماضي.

أحداث

هبوط "إيرلاندر"

اصطدمت أكبر مركبة جوية في العالم ـ التي نجحت في رحلتها الجوية الأولى في منتصف أغسطس الماضي ـ بالأرض أثناء هبوطها في رحلتها التجريبية الثانية. فقد هبطت المركبة "إيرلاندر 10" Airlander 10 ـ البالغ طولها 92 مترًا، وتجمع في مواصفاتها التقنية بين الطائرة والسفينة الجوية ـ بمقدِّمتها على الأرض، بعد 100 دقيقة من التحليق التجريبي في بدفوردشاير في المملكة المتحدة في الرابع والعشرين من أغسطس الماضي (**في الصورة**). ذكرت الشركة المطوِّرة لإيرلاندر "هايبرد إير فيكلز" Hybrid Air Vehicles في بدفورد أن الحادث تَسَبَّب في تدمير قمرة القيادة بالمركبة، بدون حدوث إصابات بشرية. ومِن المقرَّر أن تُستخدم "إيرلاندر 10" في الاستطلاعات، والاتصالات، وتوصيل المساعدات، وكذلك في نقل الركاب.

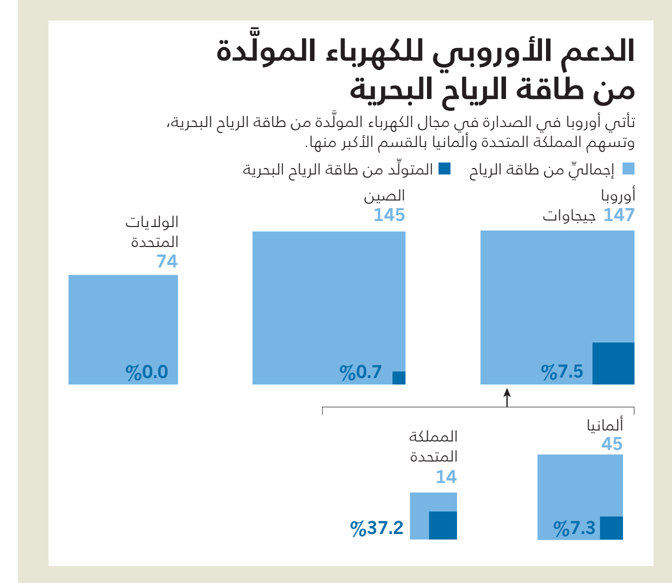
قمر صناعي كَمِّي

أطلقت الصين أول قمر صناعي كَمِّي في العالم في السادس عشر من أغسطس الماضي. فقد وصلت مهمة التجارب الكَمِّية على مستوى الفضاء (QUESS) ـ التي انطلقت من "مركز جيوكان لإطلاق الأقمار الصناعية"، الواقع شمالي الصين ـ إلى المدار بنجاح على ارتفاع 500 كيلومتر. سيقوم هذا القمر ـ في مهمته التي سوف تستغرق عامين ـ باختبار حدود إحدى الظواهر الكمية التي تُعرف بالتشابك الكَمِّي، عن طريق رصد ما إذا كانت الفوتونات المتشابكة تبقى مرتبطة ببعضها البعض حتى مسافة 1200 كيلومتر، أي ثمانية أضعاف المسافة التي استطاع البشر الوصول إليها حتى الآن في الفضاء، أم لا. كما سيختبر القمر الكَمِّي أيضًا طرق "نقل آني كَمِّي" للبيانات من القمر الصناعي إلى الأرض ـ والعكس ـ باستخدام فوتونات متشابكة.

ARABICEDITION.NATURE.COM
يمكنك متابعة التحديث الأسبوعي للأخبار من خلال التسجيل على:
go.nature.com/hntmqc

مراقبة الاتجاهات

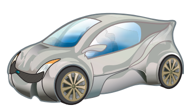
تأتي بريطانيا في مقدمة دول العالم المنتِجة للكهرباء من طاقة الرياح البحرية، بفضل الدعم الذي تقدِّمه حكومة المملكة المتحدة لإنشاء مزرعة رياح بحرية، بقدرة 1.8 جيجاوات، قبالة ساحل يوركشاير. تأتي أكثر من 90% من طاقة الكهرباء المولَّدة من طاقة الرياح البحرية على مستوى العالم من إحدى عشرة دولة أوروبية، في حين تنتج الصين معظم الـ10% المتبقية. وفي عام 2015، شكَّلت الكهرباء المولَّدة من طاقة الرياح البحرية نسبة 24% من إجمالي الكهرباء المولَّدة من طاقة الرياح في الاتحاد الأوروبي، بينما تمثل النسبة حوالي 3% فقط على المستوى العالمي.



SOURCE: GWEC

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

أخبــار في دائرة الضـوء



RICARDO RAMIREZ

الكوكب المكتشَف حديثًا يدور حول نجم «بروكسيما سنتوري» كل 11 يومًا، و0.2 من اليوم.

علم الفلك

كوكب شبيه بالأرض في ضيافة نجم قريب

كوكب بحجم الأرض يدور حول نجم «بروكسيما سنتوري» قد يؤوي على سطحه ماءً وحياة!

ألكساندرا ويتز

اكتشف العلماء مؤخرًا كوكبًا في حجم كوكب الأرض، يدور حول نجم «بروكسيما سنتوري» - النجم الأقرب إلى الشمس - على مسافة مناسبة تسمح بوجود مياه متدفقة. ويحقق هذا الاكتشاف ـ الذي أُعلن عنه في الأسبوع الأخير من شهر أغسطس في دورية *Nature*[1] ـ حلمًا قديمًا لا يزال يداعب خيال مؤلفي روايات الخيال العلمي، ألا وهو كوكب صالح للسكنى، قريب بما يكفي ليرسل البشرُ إليه أول مركبة فضاء تسافر عبر النجوم.

إنّ "البحث عن الحياة يبدأ الآن"، حسبما يقول جيلم أنجلادا-إسكودى، عالِم الفلك بجامعة كوين ماري بلندن، وقائد الفريق الذي توصَّل إلى هذا الاكتشاف. وقد تُولِّد الفرصة الأولى للبشرية لاستكشاف هذا العالم القريب من رحم مبادرة «بريكثرو ستارشوت» Breakthrough Starshot التي أُعلن عنها مؤخرًا، والتي تخطِّط لبناء أساطيل من المسابير ضئيلة الحجم المدفوعة بالليزر للسفر عبر النجوم في غضون العقود المقبلة. وسوف تستغرق الرحلة ـ بسرعة تبلغ 20% من سرعة الضوء ـ حوالي 20 عامًا لقَطْع المسافة التي تبلغ 1.3 فرسخ فلكي، والتي تفصل بين الأرض وبروكسيما سنتوري.

ويعادل كوكب بروكسيما ـ على الأقل ـ كتلة الأرض، ويزيد عليها بمقدار الثلث. ويدور الكوكب حول نجمه القزم أحمر اللون – وهو أصغر حجمًا، وأقل سطوعًا بكثير من الشمس – كل 11 يومًا، و0.2 من اليوم. ويقول ديفيد كيبينج، عالِم الفلك بجامعة كولومبيا بمدينة نيويورك: «لو سنحت لنا فرصة اختيار نوع الكوكب الذي نريد، والذي يدور حول نوع النجم الذي نريد؛ سنجد أن هذا الاكتشاف هو تجسيد لما نريده بالضبط. إنه أمر مثير».

إشارات تجاذبية

كانت دراسات سابقة قد ألمحت إلى احتمال وجود كوكبٍ حول نجم بروكسيما. وبداية من عام 2000، بحث منظار التحليل الطيفي في المرصد الأوروبي الجنوبي في شيلي عن إزاحات في ضوء النجم، ناتجة عن الجذب التثاقلي لكوكبٍ ما يدور حول النجم. وقد أشارت القياسات إلى أن شيئًا ما يحدث للنجم كل 11 يومًا، و0.2 من اليوم، لكن لم يتمكن علماء الفلك من تحديد ما إذا كانت الإشارة ناتجة عن كوكب يدور حول النجم، أم عن نشاط من نوع آخر؛ كأن يكون توهجًا نجميًّا، على سبيل المثال.

وفي يناير 2016، أطلق أنجلادا-إسكودى وزملاؤه حملة لحسم أمر كوكب بروكسيما، الذي تدور حوله الشبهات. ووافق المرصد الأوروبي الجنوبي على طلبهم لمتابعة عملية الرصد باستخدام أداة ثانية لصيد الكواكب، في تليسكوب آخر، لمدة 20 دقيقة كل ليلة تقريبًا في الفترة من 19 يناير، حتى 31 مارس. يقول أنجلادا-إسكودى: "بمجرد انقضاء 10 ليالٍ؛ بات الأمر واضحًا".

أطلق الفريق على هذا العمل اسم حملة «النقطة الحمراء الباهتة»، وذلك تيمنًا بصورة الأرض الشهيرة باسم «النقطة ◄

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

◄ الزرقاء الباهتة» التي التقطتها المركبة الفضائية «فوياجر 1» في عام 1990. ونظرًا إلى أن بروكسيما نجم أحمر قزم، سوف يبدو لون الكوكب مائلًا إلى اللون الأحمر، أو البرتقالي، وربما يكون غارقًا في ضوء يشبه الصبغة التي تلون الأمسيات الدافئة على الأرض. ورغم أن الكوكب يدور على مسافة تسمح بوجود المياه المتدفقة، فثمة عوامل أخرى قد تجعل منه غير صالح للسكنى. فقد يتسم الكوكب بالتقييد المَدِّي، بمعنى أن أحد نصفيه مواجه للنجم دائمًا، مما يجعل أحد نصفي الكوكب قائظ الحرارة، بينما يبقى النصف الآخر باردًا. وربما يكون ذلك النجم النشط يُطْلِق على الكوكب من حين إلى آخر ومضات أشعة سينية مدمرة، وليس واضحًا ما إذا كان للكوكب غلاف جوي واق يساعد على نشأة حياة عليه، أم لا.

ينتمي بروكسيما إلى النظام النجمي الثلاثي «ألفا سنتوري». وفي عام 2012، جاء في ورقة بحثية نُشرت في دورية *Nature* أن هناك كوكبًا بحجم كتلة الأرض يدور حول عضو آخر في ذلك الثلاثي النجمي، «ألفا سنتوري ب»[2]، ولكن تلك النتيجة لم تعد مطروحة الآن غالبًا[3,4]، غير أن المتخصصين في دراسة الكواكب خارج المجموعة الشمسية يقولون إن النتائج المتعلقة ببروكسيما غالبًا ما ستصمد وتثبت صحتها. يقول آرتي هاتزيس، عالِم الفلك بمرصد تورينجن في تونتبرج بألمانيا: "إنهم يدعونني بـ «السيد متشكِّك»، ولكنني أعتقد أن هذه النتيجة أكثر دقة". ويقول فريق أنجلادا-إسكودى إن المزيج من نتائج عمليات الرصد الجديدة والقياسات القديمة التي تعود إلى عام 2000 يزيد من الثقة في هذا الاكتشاف هذه المرة. وحسب قول مايكل إندل، عالِم الفلك بجامعة تكساس في أوستن، وأحد أعضاء الفريق: "لقد ظل صامدًا بقوة على مدار فترة طويلة جدًّا فيما يتعلق بالأطوار، وسِعَة بُعد الجرم السماوي. وهذه علامة دالة على أنه كوكب". وتشير البيانات أيضًا إلى احتمال وجود كوكب ثانٍ، يدور حول بروكسيما كل فترة تتراوح بين 100 يوم، و400 يوم.

ويأمل الباحثون الآن في معرفة ما إذا كان من الممكن رؤية مرور هذا الكوكب عبر وجه نجم بروكسيما من الأرض، أم لا؛ حيث إن مثل هذا "العبور" من الممكن أن يكشف عما إذا كان للكوكب غلاف جوي، أم لا. ويقوم فريق بقيادة كيبنج بالبحث بشكل مستقل عن عمليات عبور بالقرب من النجم بروكسيما، ويعمل الفريق حاليًّا على دراسة البيانات عن كثب، وعلى نطاق واسع؛ بحثًا عن إشارة.

يقول ستين سيجوردسون ـ عالِم الفيزياء الفلكية بجامعة ولاية بنسلفانيا في يونيفرسيتي بارك ـ إن اكتشاف كوكب نجم بروكسيما يأتي في الوقت الذي يزداد فيه الاهتمام العلمي بالكواكب الصغيرة التي تدور حول النجوم القزمية. ولقد أظهر تليسكوب «كبلر» الفضائي ـ التابع لوكالة «ناسا» ـ أن الكواكب الصخرية تنتشر حول مثل هذه النجوم، التي تُعَدّ بدورها أكثر أنواع النجوم شيوعًا في المجرة. ويضيف سيجوردسون: "هذا أكبر إثبات لهذه الاستراتيجية".

وربما يأتي يوم يُرى كوكب نجم بروكسيما فيه على أنه بداية مرحلة جديدة في أبحاث الكواكب. ويقول كيبنج: "نه يمنحنا الهدف والتركيز لبناء الجيل القادم من التليسكوبات. وفي يوم ما، قد نتمكن من زيارته. إنه بالضبط ما نحتاج إليه لكي ننقل علم دراسة الكواكب خارج المجموعة الشمسية إلى المستوى التالي". ■

1. Anglada-Escudé, G. *et al. Nature* http://dx.doi.org/10.1038/nature19106 (2016).
2. Dumusque, X. *et al. Nature* **491,** 207–211 (2012).
3. Hatzes, A. P. *Astrophys. J.* **770,** 133 (2013).
4. Rajpaul, V., Aigrain, S. & Roberts, S. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **456,** L6–L10 (2016).

طاقة

محطات الطاقة النووية تستعد للشيخوخة

جهود حثيثة ومكثفة.. للمحافظة على تشغيل المفاعلات النووية في العالم لما بعد عام 2050.

جيف توليفسون

تساعد إجراءات الفحص المتطوِّرة على اكتشاف العيوب في محطات الطاقة النووية القديمة، قبل أن تتسبب في متاعب. ففي شهر مارس الماضي، كشفت اختبارات الموجات فوق الصوتية علامات اهتراء وتمزُّق في بعض البراغي الفولاذية المقاومِة للصدأ في قلب مفاعل محطة «إنديان بوينت» للطاقة في شمال مدينة نيويورك. ويعكف الباحثون في معهد بحوث الطاقة الكهربائية (EPRI) في بالو ألتو بكاليفورنيا حاليًّا على تحليل أكثر من اثني عشر من البراغي، التي يبلغ طولها 5 سنتيمترات، والتي تُثبِّت اللوحات التي تساعد على توجيه المياه عبر قلب المفاعل النشط إشعاعيًّا؛ لتحديد السبب وراء عدم اجتيازها الفحص.

ويأتي هذا التحليل في الوقت الذي تدرس فيه اللجنة التنظيمية النووية الأمريكية (NRC) فكرة مدّ فترة حياة مفاعلَي إنديان بوينت، البالغ عمر كل منهما 40 عامًا لمدة 20 سنة إضافية. يستشهد معارضو المحطة ـ ومنهم ولاية نيويورك ـ بالبراغي المعيبة، وحريق محوِّل كهربائي في العام الماضي، والمخاوف البيئية، والمخاوف المتعلقة بالسلامة كأدلّة على وجوب إغلاق المنشأة.

ومشكلة البراغي التالفة في تلك المحطة ما هي إلا مجرد مثال على مشكلات الصيانة التي تواجه المفاعلات النووية القديمة في جميع أنحاء العالم. وتسعى الوكالة الدولية للطاقة الذرية واللجنة التنظيمية النووية الأمريكية إلى وضع خطوط إرشادية وتوجيهات لإدارة هذه المنشآت، ولكن المشكلة قد تكون أكثر حدة بالنسبة إلى الولايات المتحدة، التي يُعتبر أسطول مفاعلاتها التسعة والتسعين هو الأقدم والأكبر.

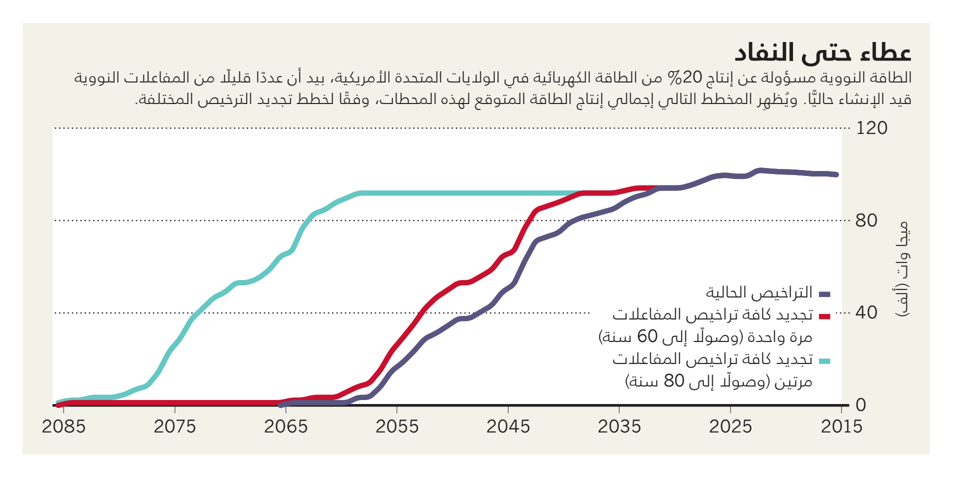
وقد جددت اللجنة التنظيمية النووية تراخيص 81 مفاعلًا أمريكيًّا ستظل في الخدمة لمدة 20 سنة أخرى. وقدمت إرشادات السلامة في ديسمبر الماضي إلى المرافق التي تدرس تجديد تراخيصها لمدة 20 سنة أخرى، بيد أن المخاوف لا تزال قائمة بشأن تأثير الزمن على المنشآت التي قد يمكن أن تعمل لمدة 80 عامًا (انظر الشكل بعنوان: «عطاء حتى النفاد»).

تقول أليسون مكفارلين ـ الرئيس السابق للجنة التنظيمية النووية ـ إن الصناعة تكافح اقتصاديًّا في مواجهة الغاز الطبيعي زهيد التكلفة، وإنّ هناك شركات طاقة نووية تستثمر الحد الأدنى عندما يتعلق الأمر بعمليات الصيانة والتحديث. وأضافت إنها تفضِّل أن ترى انتقالًا إلى تصميمات مفاعلات أجدد وأكثر أمانًا، بدلًا من محاولات دفع المفاعلات القديمة للعمل حتى استنفاد طاقتها تمامًا.

إطالة متوسط العمر

سيجري كيرت إدسنجر، مدير المواد في معهد بحوث الطاقة الكهربائية، وفريقه مجموعة من الاختبارات على بعض براغي مفاعل «إنديان بوينت»؛ لفحص كسورها، وتقييم قوة مادتها. كما سيقوم الفريق بتحليل آثار ما يقرب من أربعة عقود من القصف النيوتروني على البنية البلورية للفولاذ في البراغي.

وتمثل هذه الدراسة جزءًا من مجهودات أكبر يبذلها معهد بحوث الطاقة الكهربائية، ووزارة الطاقة الأمريكية؛



الطاقة النووية مسؤولة عن إنتاج 20% من الطاقة الكهربائية في الولايات المتحدة الأمريكية، بيد أن عددًا قليلًا من المفاعلات النووية قيد الإنشاء حاليًا. ويُظهِر المخطط التالي إجمالي إنتاج الطاقة المتوقع لهذه المحطات، وفقًا لخطط تجديد الترخيص المختلفة.

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية


KEVIN LAMARQUE/REUTERS

تُوجَد في الولايات المتحدة الأمريكية منشآت قديمة عديدة لمفاعلات نووية. وتظهر في الصورة محطة «براونز فيري» النووية في مدينة آثينز بولاية ألاباما، التي تم افتتاحها في عام 1974.

لإثراء معلومات الصناعة والجهات التنظيمية في جميع أنحاء العالم حول المخاطر المتعلقة بقِدَم المواد والمكونات عندما يحين موعد تقدُّم محطات الطاقة النووية لتجديد تراخيصها.

تقول كاثرين مكارثي، المدير الفني لبرنامج استدامة مفاعلات الماء الخفيف، التابع لوزارة الطاقة: "حتى الآن، لم يُعثَر على مبررات عامة لإيقاف العمل، من شأنها أن تَحُول دون تجديد ثانٍ للرخصة". وفي ظل دخول عدد محدود من المفاعلات الجديدة الخدمة في جميع أنحاء العالم، قد يكون لطول عمر المنشآت الموجودة بالفعل تأثير كبير على المناخ العالمي. ففي الوقت الراهن، توفر محطات الطاقة النووية 20% من الكهرباء في الولايات المتحدة، وأكثر من نصف الطاقة منخفضة الكربون بها. وعلى الصعيد العالمي، توفر الطاقة المائية فقط كمية أكبر من الطاقة منخفضة الكربون، بمعدل يقترب من 16% من إجمالي الكهرباء المنتَجة، مقارنةً بنسبة 11% تقريبًا للطاقة النووية.

«إذا كنت توفر لمحطات الطاقة النووية الصيانة اللازمة، وتستبدل الأجزاء التي تحتاج إلى الاستبدال؛ فلا يوجد مبرِّر لعدم تشغيل المحطات النووية لسنوات طويلة».

يقول مايكل شيلنبرجر، رئيس جماعة دعم وحماية التقدم البيئي في بيركلي بولاية كاليفورنيا: "إذا كنت توفر لمحطات الطاقة النووية الصيانة اللازمة، وتستبدل الأجزاء التي تحتاج إلى الاستبدال؛ فلا يوجد مبرِّر لعدم تشغيل المحطات النووية لسنوات طويلة. وهذه أخبار عظيمة من منظور مناخي".

البعض الآخر أقل تفاؤلًا.. فوفقًا لما تقوله مكفارلين، لا تزال هناك أسئلة مهمة فيما يتعلق بمتانة الأجزاء التي لا يستطيع المفتشون رؤيتها في عمليات الفحص، مثل الكابلات الكهربائية تحت الأرض، وكذلك كيفية تقادم المواد.

وما يثير القلق بشكل خاص مباني الاحتواء الإسمنتية، وأوعية الضغط الفولاذية في قلب المفاعلات، وكذلك الأسلاك المتداخلة التي تمتد إلى مسافة كيلومترات داخل المحطات. ويعكف الباحثون حاليًّا على تحليل التأثيرات طويلة المدى للحرارة الشديدة والقصف النيوتروني على المواد الأساسية بالمحطة، وصولًا إلى المستوى الذري.

في بعض الحالات، يُجْرِي العلماء تجارب تسريع التقادم، التي تتعرض فيها المواد لإشعاع مكثف؛ لمحاكاة 80 عامًا من النشاط داخل المفاعل. ويمكن بعد ذلك إدخال هذه المعلومات إلى نماذج تُبْرِز التدهور.

إنذار مبكر

تركِّز عملية تجديد الترخيص في اللجنة التنظيمية النووية الأمريكية على البنية التحتية الأساسية، التي قد لا تكون جزءًا من برامج الصيانة المنتظمة. وحسب قول ألين هايزر، مستشار فني أول في القسم المسؤول عن تجديد التراخيص في اللجنة التنظيمية النووية الأمريكية، فإن الهدف من ذلك هو إنشاء نظام فحص وتفتيش يكشف العيوب، قبل أن تتحول إلى مشكلة.

يقول مسؤولو اللجنة التنظيمية النووية الأمريكية إن هذا هو ما حدث في مفاعل إنديان بوينت؛ فقد اكتُشفت عيوب مماثلة في البراغي في مفاعل نووي في فرنسا في عام 1988، ووضعت الوكالة متطلبات الفحص؛ للكشف عن مثل هذه العيوب في المستقبل.

وحسب قول ديف لوكبوم، رئيس مشروع السلامة النووية في «اتحاد العلماء المعنيين» في كمبريدج بماساتشوستس، فهذه ليست القصة الكاملة ؛ حيث إن الفحص بالموجات فوق الصوتية الذي كشف البراغي التالفة في مفاعل إنديان بوينت ـ وهو أسلوب الفحص الذي أصبح الآن إلزاميًّا ـ جاء فقط بعد أن شكَّكت ولاية نيويورك في كفاءة وفعالية عمليات الفحص والتفتيش البصرية قبل عقد من الزمن.

لا تزال مكفارلين متشككة في الأمر، وتقول: "إذا تم تجديد التراخيص للمحطات الأمريكية الحالية للمرة الثانية، فسوف تعيش تلك المحطات إلى أن يصبح عمرها 80 عامًا بتصميمات تبلغ من العمر قرابة 100 عام"، وتضيف: "سنكون أفضل حالًا كثيرًا مع بعض المفاعلات الجديدة". ■

مؤسسات بحثية

مدينة العلوم المصرية في مأزق

حاجة ماسة إلى دعم حكومي للمشروع الذي أسسه أحمد زويل الحائز على جائزة «نوبل».

باكينام عامر، ومحمد يحيى

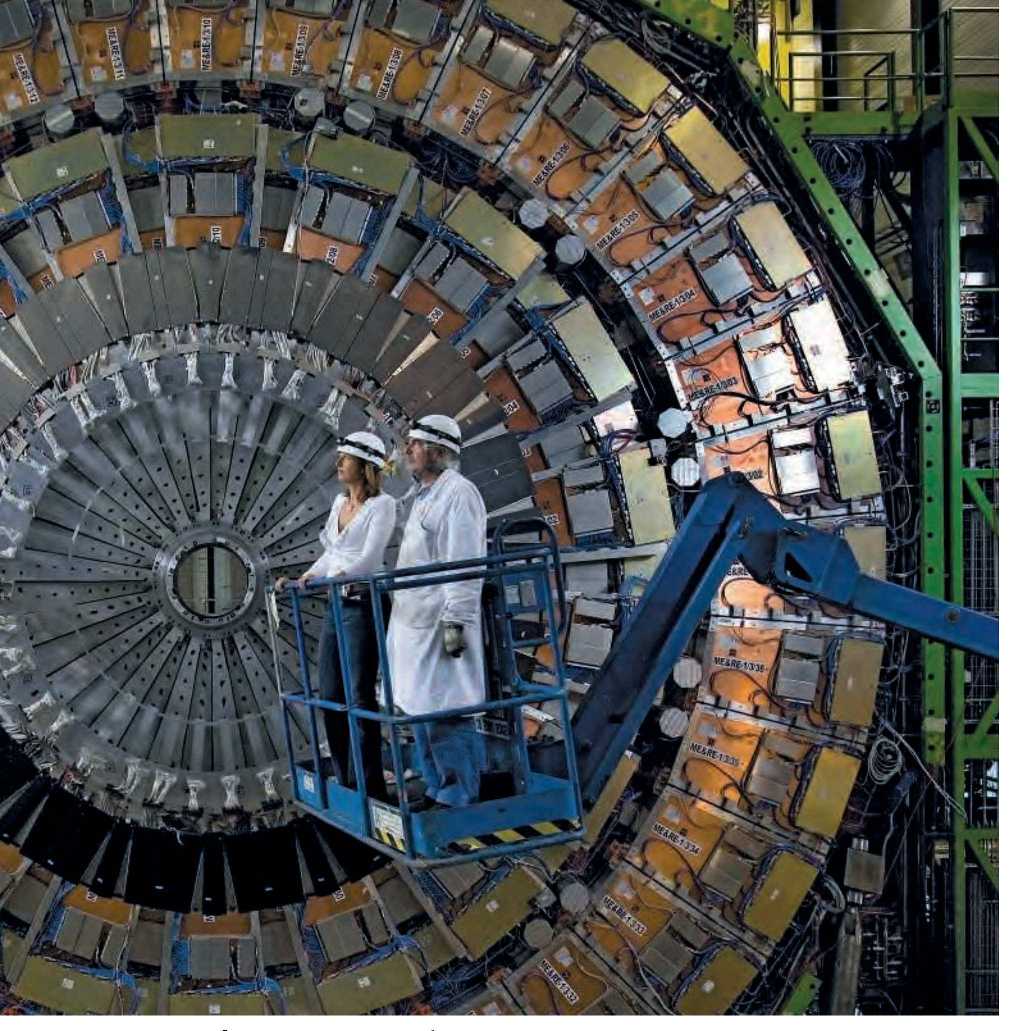
تدور تساؤلات حول مستقبل مدينة العلوم الأولى في مصر، بعد وفاة د. أحمد زويل، الحائز على جائزة «نوبل»، الذي خلَّف وراءه هذا الإرث الثمين. تحمل مدينة زويل للعلوم والتكنولوجيا ـ وهي حرم جامعي خارج القاهرة، يشتمل على جامعة غير هادفة إلى الربح، وعديد من المؤسسات البحثية ـ اسم الرجل الذي رأسها، أحمد زويل، الكيميائي الأمريكي، مصري المولد، وأول عربي يفوز بجائزة «نوبل» للعلوم.

بعد وفاة زويل في الثاني من أغسطس الماضي، وهو في السبعين من عمره، أثيرت شكوك جديدة حول مصادر التمويل "غير المستقرة" الخاصة بهذه المنارة البحثية. فقد اعتمدت المؤسسة ـ التي افتُتحت عام 2011 ـ بقوة على اسم زويل اللامع وعلاقاته؛ للحصول على الدعم من المؤسسات العلمية المرموقة، وتبرعات بلغت 700 مليون جنيه مصري (حوالي 80 مليون دولار). والآن، بدأت أموال الدعم تنفد. وعلى الرغم من اقتراض الجامعة مبلغ مليار جنيه مصري من وزارة الدفاع، إلا أنها لم تجمع من الأموال ما يكفي للانتقال ـ الذي كان مخططًا له ـ إلى حرم جامعي جديد بحلول عام 2019، بتكلفة قدرها 450 مليون دولار، حسب قول شريف فؤاد، المتحدث باسم المدينة.

ويقول شريف الخميسي، عالِم الأحياء الجزيئية في جامعة شيفلد بالمملكة المتحدة، الذي يشغل أيضًا منصب مدير مركز علوم الجينوم بمدينة زويل: "لطالما مثَّل جمْع الأموال تحديًا. وأرجِّح أنه سيتأثر في المدى القريب بفقدان الدكتور زويل". ويأمل الدكتور شريف وغيره من المنتسبين إلى هذا الصرح في استمراره. وفي كلمة ألقاها يوم 6 أغسطس بعد وفاة زويل، طلب الرئيس المصري عبد الفتاح السيسي من المصريين مواصلة التبرع للمدينة، وتعهَّد بأنْ تكمل القوات المسلحة المصرية ـ التي يبني مهندسوها الحرم الجديد ـ أعمال البناء، حتى وإنْ لم يتوفر مزيد من المال.

ويقول صلاح عُبيَّة، عالِم الفيزياء الذي يشغل حاليًّا منصب رئيس مجلس إدارة المدينة، إلى أن يُنتخب بديل لزويل، إنه من المرجح أن تحتاج الحكومة المصرية ـ في نهاية المطاف ـ إلى التدخل لدعم المشروع، في حين يرى الدكتور الخميسي أنه "من المتوقع أن يقضي الدعم اللوجستي المأمول من الدولة على حالة الخوف وعدم التيقن القائمة". ■

للحصول على نسخة أطول من هذا الموضوع، انظر: go.nature.com/2bthapb



كانت تجربة CMS (في الصورة) واحدة من تجربتين في مصادم الهدرونات الكبير، رأتا لمحات لجسيم لم يكن متوقَّعًا.

STEFANO DAL POZZOLO/CONTRASTO/EYEVINE

فيزياء الجسيمات

آمال مصادم الهدرونات الكبير تتبدد

مع تزايد البيانات.. اختفت إشارة الفوتونين الواعدة.

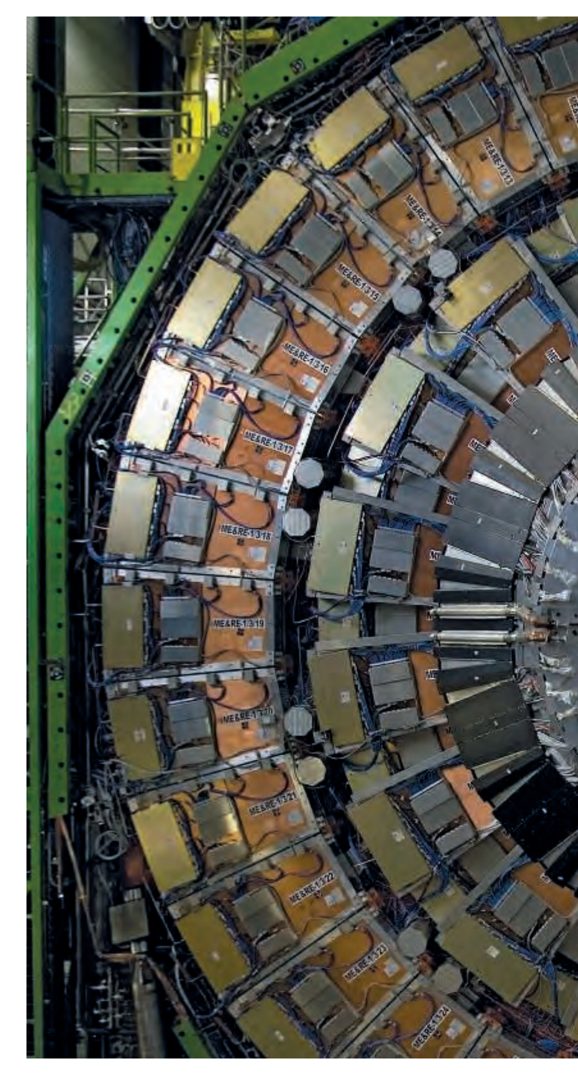
إليزابيث جيبني، شيكاغو، إلينوي

كان من الممكن للتلميحات المشيرة إلى جسيم غير متوقع ـ تم الكشف عنه بواسطة مصادم الهدرونات الكبير (LHC) ـ أن تمثل علامة بدء عهد جديد في فيزياء الجسيمات، بيد أن أحدث البيانات قد محت أي آمال بترسيخها مع مرور الوقت. واتضح أن البروز الذي ظهر في رسوم البيانات، والذي ذُكر لأول مرة في ديسمبر الماضي، ما هو إلا تذبذب إحصائي.

قام ممثلون عن التجربتين ATLAS، وCMS المستقلتين في مصادم الهدرونات الكبير ـ وهو جزء من المختبر الأوروبي لفيزياء الجسيمات بمنظمة «سيرن» CERN ـ بإعلان الخبر في المؤتمر الدولي لفيزياء الطاقة العالية (ICHEP) في شيكاغو بإلينوي في الخامس من أغسطس الماضي. شملت التحليلات ما يقرب من خمسة أضعاف كمية البيانات المستخدَمة في شهر ديسمبر، وظهر أن الإشارة قد تضاءلت، حتى انعدمت تمامًا تقريبًا.

"لا توجد أي زيادة ملحوظة في بيانات 2016"، هذا ما قاله برونو لينزي، وهو فيزيائي يعمل ضمن تجربة ATLAS في مختبر «سيرن» ـ الواقع بالقرب من جنيف في سويسرا ـ في لقاء مكتمِل الحضور في المؤتمر الدولي لفيزياء الطاقة العالية.

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية



وتقول كيارا روفيلي، فيزيائية بالمعهد القومي للفيزياء النووية في روما، إن البيانات الإضافية الصادرة عن تجربة CMS فشلت أيضًا في إصدار أي إشارات ذات أهمية.

كان الإعلان بمثابة خيبة أمل للباحثين، لكنه لم يكن بعيدًا عن التوقعات. ففي التحديث السابق لفريق تجربة ATLAS في شهر يونيو الماضي، ضُبطت دلالة الإشارة عند 2.1 سيجما، وهي بمثابة مقياس لاحتمالات أن تؤدي التذبذبات العشوائية إلى ظهور مثل هذا البروز في رسم البيانات، دون وجود جسيم. وكان ذلك أقل بكثير من حد الـ5 سيجما المطلوب لتحديد ما إذا كانت الإشارة تمثل اكتشافًا، أم أنها مجرد تشويش.

ظهرت الإشارة في كل من التجربتين ATLA، وCMS بشكل مستقل، مكوَّنةً من أزواج فوتونات أكثر عددًا من المتوقع، بمجموع طاقة يبلغ 750 جيجا إلكترون فولت، وهو ما أعطى الفيزيائيين بعض الأمل بأنّ ما ظهر من بروز في رسوم البيانات كان له مدلول حقيقي؛ فأصدر باحثون من جميع أنحاء العالم أكثر من 500 ورقة بحثية، في محاولة لشرح الجسيم المحتمل.

تقول تارا شيرز، عالمة مختصة بفيزياء الجسيمات بجامعة ليفربول في المملكة المتحدة: "إن رؤية لمحة من شيء ما ـ حتى وإنْ كانت لمحة ناقصة تجعلك تحبس أنفاسك للحظة، وتتساءل «ماذا لو..؟» ـ لها أهمية كبيرة لا يمكن أن تُترك دون استكشاف".

قصة البروز الظاهر

كان الدافع وراء الحماس الحذِر المثار هو المردود المحتمَل للبروز الذي ظهر، حسب قول دون لينكولن، الفيزيائي بمختبر فيرمي الوطني لتسريع الجزيئات، بالقرب من باتافيا في إلينوي. إنّ النموذج القياسي غير مكتمل، إذ يفشل في تفسير ألغاز معينة، مثل لغز المادة المظلمة، ولا يمكنه التوفيق بين ميكانيكا الكَمّ، والجاذبية. وكان من شأن ظهور جسيم جديد أن يوجِّه الفيزيائيين نحو نظرية بديلة، على حد قول لينكولن.

كانت الإشارة مغرية؛ فالتحليل الذي نتجت عنه دقيق وبسيط نسبيًّا، كما يقول كريستوفر بيترسون، فيزيائي نظري بجامعة تشالمرز للتكنولوجيا في جوتنبرج في السويد. وباتت مسألة كون الجسيم شبيهًا أثقل وزنًا بجسيم بوزون هيجز أمرًا مغريًا أيضًا، حسب قول جيدو تونيلي، الفيزيائي بجامعة بيزا في إيطاليا، والرئيس السابق لتجربة CMS.

ورغم أن جميع النماذج تُعتبر الآن خاطئة، إلا أن محاولة تفسير البروز الذي ظهر في البيانات كانت أمرًا ممتعًا ومفيدًا، حسب قول بيترسون. ويقول لينكولن إن الذبذبات الإحصائية والاكتشافات تبدو في البداية متطابقة. ودائمًا ما تكون مثل تلك المصادفات ممكنة عند أداء آلاف الأبحاث على جسيمات بنطاق واسع من الكتل. وقد حدثت من قبل، وعلى الأرجح سوف تحدث مرة ثانية، كما يقول.

إلى الأمام

ومن جانبه، يقول بيترسون إن هذا الإنذار الخاطئ لا يؤثر على فرص مصادم الهدرونات الكبير في العثور على شيء آخر. وفي الوقت الراهن، يَسري العمل بالتجارب هناك كالمعتاد، بيد أنه لا يزال يلوح بعض القلق في الأفق، إذ إنه بعد مرور 40 عامًا على وضع النموذج القياسي، لم تعثر مسرعات الجسيمات ـ بما فيها مصادم الهدرونات الكبير ـ على أي شيء أبعد من ذلك.

يقول جاي ويلكينسون ـ الفيزيائي بجامعة أكسفورد في المملكة المتحدة ـ إن عدم انبثاق أي شيء مفاجئ من بيانات المصادم أمر غريب. ويحفِّز ذلك قلقًا متزايدًا في المجتمع.. فمع مرور الوقت، دون العثور على شيء جديد، يقل احتمال أن تكون إصدارات التناظر الفائق الأكثر إغراءً صحيحة، وهي التي يمكن القول إنها أكثر الطرق الواعدة لمدّ النموذج القياسي.

ويرى بيترسون أن فرص عثور مصادم الهدرونات الكبير على شيء جديد في العام الحالي والعام المقبل تزداد، بينما تقترب طاقة عمل المصادم من حدّها الأعلى، البالغ 14 تيرا إلكترون فولت. وإذا كانت الجسيمات الجديدة نادرة، أو إذا كانت تتحلل بطرق يصعب رصدها، فقد يستغرق ظهورها بعض الوقت، حسب قوله.

وتقول شيرز إن هناك طرقًا أخرى أيضًا للعثور على جسيمات جديدة. فمع توافر بيانات كافية، يمكن للجسيمات الثقيلة جدًّا ـ التي يصعب إنتاجها مباشرة ـ أن تُظْهِر نفسها عن طريق إحداث تأثيرات دقيقة على الجسيمات المعروفة جيدًا. وقد عثر فيزيائيون يعملون ضمن تجربة LHCb ـ التي تتم في المصادم أيضًا ـ على إشارات كتلك؛ لكنهم بحاجة إلى مزيد من المعلومات لتأكيدها.

يقول تونيلي: "نحن موقنون بالفعل مِن أنه عاجلًا أو آجلًا سينجح أحد هذه الأشياء غير العادية في أن ينجو من جميع تجارب التحكم.. وفجأة سيتغير كل شيء". ويضيف: "تكمن روعة ما نفعله في احتمال أن يحدث ذلك في أي وقت". ■

الفيزياء

نجـاح ثقـب أسـود اصطنـاعي

ربما تكون نتائجه هي الأقرب حتى الآن إلى رصد إشعاع هوكينج.

ديفيديه كاستيلفيكي

إن الثقوب السوداء ليست سوداء بالفعل؛ بل يُعتقد أن بالوعات الجاذبية تلك تنبعث منها إشعاعات تؤدي إلى انكماشها واختفائها في نهاية المطاف. وتُعَدّ تلك الظاهرة واحدة من أغرب الأمور المتعلقة بالثقوب السوداء، التي تنبأ بها ستيفن هوكينج منذ ما يزيد على 40 عامًا؛ مما خلق مشكلات في الفيزياء النظرية، ما زالت تثير الاضطرابات في هذا المجال حتى اليوم.

والآن، وبعد سبع سنوات أمضاها في دراسة انفرادية في كثير من الأحيان، تمكَّن جيف شتاينهاور ـ عالِم الفيزياء التجريبية في التخنيون-معهد إسرائيل للتقنية في حيفا ـ من عمل ثقب أسود اصطناعي، يبدو أنه يُطْلِق إشعاعات هوكينج تلك من تلقاء نفسه، وتكون ناجمةً عن تذبذبات كمية تنبعث من هيكل التجربة.

إنّ رصد إشعاع هوكينج في ثقب أسود حقيقي يكاد يكون أمرًا مستحيلًا، ولم تقم تجارب الثقوب السوداء الاصطناعية التي أُجريت في السابق بإرجاع مصدر الإشعاع فيها إلى التذبذبات التلقائية. ومن ثم، فإن النتائج الجديدة المنشورة في يوم 15 أغسطس[1] قد تكون هي الأقرب حتى الآن إلى رصد إشعاع هوكينج.

يقول شتاينهاور إن الثقوب السوداء الاصطناعية ◄

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

بناء ثقب أسود

باستخدام سحابة من الذرات فائقة البرودة، تمت محاكاة أفق الحدث الخاص بالثقب الأسود داخل المختبر، وهي النقطة التي تصبح بعدها قوة الجذب قوية للغاية، بحيث لا يتمكن حتى الضوء من الهروب. ويبدو أن هذا الثقب الأسود الاصطناعي ينبعث منه شكل من أشكال إشعاع هوكينج.

ثقب أسود حقيقي

التذبذبات الكمية في الفراغ الفضائي تنتج فوتونات افتراضية. وفي بعض الأحيان، يعلق أحد الزوجين خلف أفق الحدث، قبل أن يقضيا على بعضهما البعض، مما يجبرهما على التحول إلى جسيمات حقيقية. أما الفوتون الذي يتمكن من الهروب، فإنه ينبعث على هيئة إشعاع هوكينج.

ثقب أسود اصطناعي

الذرات فائقة البرودة داخل أنبوب تخضع لتذبذبات كمية، تنتج عنها أزواج من الجسيمات الافتراضية، وهي في تلك الحالة حزم من الصوت تُدعى فونونات. وإذا وقع فونون واحد في المنطقة فوق الصوتية، فإنه يصبح عالقًا، مما يؤدي إلى تكوين شكل صوتي من أشكال إشعاع هوكينج.

تلك ربما تساعد في حل بعض المعضلات التي تفرضها هذه الظاهرة على نظريات أخرى، بما في ذلك ما يُطلق عليه "معضلة معلومات الثقوب السوداء"، وقد تمهِّد الطريق أيضًا لإدماج ميكانيكا الكم مع إحدى نظريات الجاذبية.

وقد عبَّر فيزيائيون آخرون عن إعجابهم بالفكرة، وإنْ كانوا يحذرون من كون النتائج غير قاطعة. كما أن بعضهم يشكك في مقدرة المحاكاة المعملية على كشف الكثير من الأمور المتعلقة بالثقوب السوداء الحقيقية. تقول سيلكه واينفورتنر - عالمة في الفيزياء النظرية والتجريبية في جامعة نوتنجهام بالمملكة المتحدة: "إذا كانت كافة التصريحات صحيحة، فإن تلك التجربة مدهشة بحق، لكنها لا تثبت أن إشعاع هوكينج يوجد حول الثقوب السوداء الفلكية". كان ذلك في منتصف السبعينات، حين اكتشف هوكينج ـ وهو عالِم في الفيزياء النظرية بجامعة كمبريدج بالمملكة المتحدة أن حدود "أفق الحدث" لثقب أسود ـ أي الإطار الذي لا يمكن لأي شيء، بما في ذلك الضوء، الهروب منه ـ لا بد أن تكون له تَبِعَات مميزة على مجال علم الفيزياء.

إن فكرة استبعاد عشوائية نظرية الكَمّ لوجود عدم حقيقي كانت بمثابة نقطة الانطلاق بالنسبة إلى هوكينج، فحتى أكثر مناطق الفضاء فراغًا على الإطلاق تعجّ بتذبذبات في مجالات الطاقة، مما يتسبب ـ بشكل مستمر ـ في ظهور أزواج من الفوتونات، لا لشيء غير تدمير بعضها البعض فور ظهورها مباشرة. ومع ذلك.. مثلما تَحَوَّل بينوكيو من دمية إلى صبي حي، يمكن لتلك الفوتونات "الافتراضية" أن تتحول إلى جسيمات حقيقية، إذا فصل أفق الحدث بينها قبل أن تتمكن من القضاء على بعضها البعض. وبذلك يسقط أحد الفوتونات داخل أفق الحدث، بينما يهرب الآخر إلى الفضاء الخارجي.

NATURE.COM
اقرأ المزيد عن عالِم الفيزياء الذي يحاكي الثقوب السوداء باستخدام الصوت:
go.nature.com/2atqxhy

وحسبما أظهر هوكينج، يتسبب ذلك في أن تُطْلِق الثقوب السوداء الإشعاع ـ وإنْ كان واهنًا للغاية ـ وأن تتقلص وتختفي في النهاية، لأن الجسيم الذي يسقط بالداخل يحمل دائمًا طاقة سالبة تعمل على استنزاف الثقب الأسود. أما أكثر الأمور إثارة للجدل، فهو ما أشار إليه هوكينج بأن اختفاء ثقب أسود يدمر كل المعلومات المتعلقة بالأجسام التي سقطت بداخله، مما يتعارض مع ما هو متعارَف عليه بأن مجموع المعلومات الموجودة في الكون لا بد أن يبقى ثابتًا.

في أوائل الثمانينات، قام الفيزيائي بيل أونروه ـ من جامعة كولومبيا البريطانية في فانكوفر بكندا ـ بعرض طريقة لاختبار بعض تنبؤات هوكينج[2]. فقد تخيل وسطًا يمكن أن تحدث فيه مثل تلك الحركة المتسارعة، كحركة المياه أثناء اقترابها من السقوط على الشلال. ومثلما يقترب السباح من النقطة التي يصبح عندها غير قادر على السباحة بسرعة كافية للهروب من الشلال، تصبح الموجات الصوتية أيضًا غير قادرة على الحركة ضد التيار عندما تعبر نقطة في الوسط تتجاوز سرعة الصوت. وقد تنبأ أونروه أن تضاهي تلك النقطة أفق الحدث، وأنها من المفترض أن تمثل نموذجًا صوتيًا لإشعاع هوكينج.

«تلك ورقة بحثية رائدة بالتأكيد».

طَبَّق شتاينهاور فكرة أونروه في سحابة من ذرات الروبيديوم، قام بتبريدها إلى جزء من الدرجة فوق الصفر. وتم احتواء الذرات في حاوية مغلقة تشبه لفافة التبغ، يبلغ طولها عدة مِلِّيمترات، ثم دخلت الذرات في حالة كمية تُدعى «تكاثف بوز-أينشتاين» BEC؛ كانت سرعة الصوت فيها نصف مِلِّيمتر فقط في الثانية الواحدة. وتمكَّن شتاينهاور من خلق أفق حدث، عن طريق تسريع الذرات، حتى أصبح بعضها يتحرك بسرعة تفوق المِلِّيمتر الواحد لكل ثانية، وهي السرعة فوق الصوتية الخاصة بناتج التكثيف (انظر: «بناء ثقب أسود»).

في درجات الحرارة فائقة البرودة، يخضع تكاثف بوز-أينشتاين لتذبذبات كمية ضعيفة فقط، تشبه تلك الموجودة في الفراغ الفضائي، ومن شأنها أن تنتج حِزَمًا من الصوت، تُدعى فونونات، كما ينتج الفراغ الفوتونات، حسب قول شتاينهاور. وهنا، ينبغي أن تنفصل الأزواج عن بعضها البعض، بحيث يكون أحد الزوجين على الجانب فوق الصوتي من أفق الحدث، بينما يشكل الآخر إشعاع هوكينج.

على أحد جانبي أفق الحدث الصوتي الخاص بشتاينهاور، حيث تتحرك الذرات بسرعة فوق صوتية، تعلق الفونونات. وبالتقاط صور لتكاثف بوز-أينشتاين، وجد شتاينهاور ارتباطات بين كثافة الذرات التي كانت تقع على مسافات متساوية من أفق الحدث، لكن على جهات متقابلة منه. ويوضح ذلك أن أزواج الفونونات كانت متشابكة، وهي إشارة إلى نشأتها بشكل تلقائي من التذبذب الكَمِّي ذاته، كما يقول.. وأن تكاثف بوز-أينشتاين كان ينبعث عنه إشعاع هوكينج.

وبالمقارنة، فإن الإشعاع الذي رصده شتاينهاور في إصدار سابق من التجربة كان لا بد من إثارته، بدلًا من أن ينبعث من تكاثف بوز-أينشتاين ذاته[3]، في حين لم تُظْهِر تجربة سابقة ـ بقيادة أنروه وواينفورتر، وتمَّت في موجات المياه ـ أي تأثيرات كمية[4].

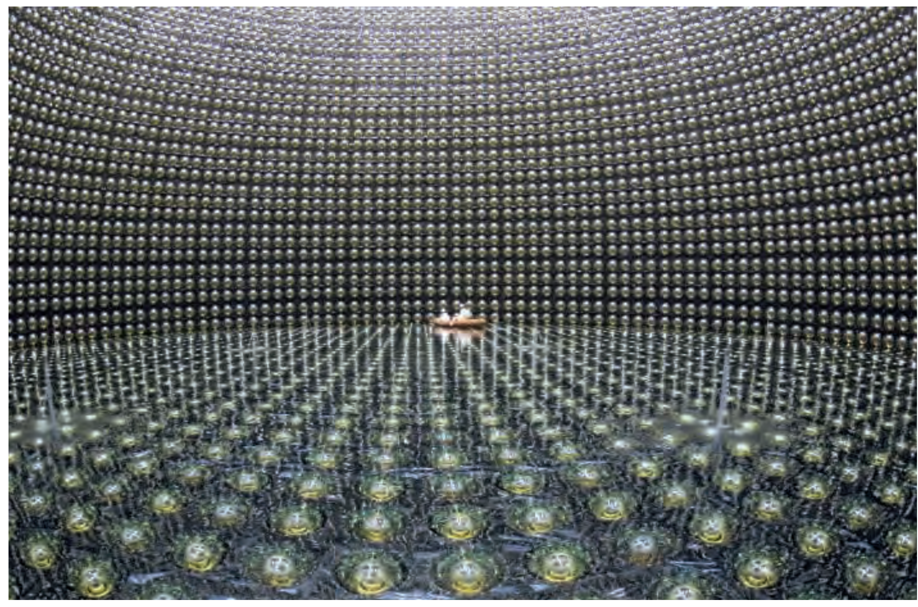
وكما أنّ الثقوب السوداء الحقيقية ليست سوداء، فإنّ الثقوب السوداء الصوتية الخاصة بشتاينهاور ليست هادئة تمامًا. والأصوات المنبعثة منها ـ إن كانت مسموعة ـ يمكنها أن تمثل ضوضاء ثابتة.

"تلك ورقة بحثية رائدة بالتأكيد"، كما يقول أولف ليونهارت، عالم الفيزياء في معهد وايزمان للعلوم في رحوفوت بإسرائيل، الذي يقود محاولات متعددة لتوضيح ذاك التأثير باستخدام موجات ليزر في ألياف ضوئية، إلا أنه يقول إن الدليل على وجود تشابك يبدو غير مكتمل، وذلك لأن شتاينهاور أظهر وجود ترابط فقط في حالة الفونونات ذات الطاقات العالية نسبيًّا، بينما لا يبدو أن هناك ترابط بين أزواج الفونونات ذات الطاقة الأقل. كما يقول إنه غير واثق من كون الوسط هو بالفعل تكاثف بوز-أينشتاين؛ فعلى حد قوله؛ ربما كانت هناك أنواع أخرى من التذبذبات التي يمكنها محاكاة إشعاع هوكينج.

ومن غير الواضح أيضًا ما يمكننا معرفته من خلال الثقوب السوداء الاصطناعية عن الأمور الغامضة المحيطة بتلك الحقيقية. يقول ليونارد ساسكند، عالِم الفيزياء النظرية بجامعة ستانفورد في كاليفورنيا: "لا أظن أنها ستوضح ما يُسمى ‹مُعضلة المعلومات›" . وعلى عكس الثقوب السوداء الفيزيائية الفلكية، لا تُفقد المعلومات بالثقوب السوداء الصوتية الخاصة بشتاينهاور، إذ إنّ تكاثف بوز-أينشتاين لا يتبخر.

ومع ذلك، إذا تم إثبات النتائج التي توصل إليها شتاينهاور، سيكون ذلك "انتصارًا لهوكينج، مثلما كان الرصد المتوقَّع لجسيم بوزون هيجز انتصارًا لهيجز وشركائه"، كما يقول ساسكند. فقد شكك البعض في وجود الجسيم، لكن اكتشافه في عام 2012 كان سببًا في حصول بيتر هيجز وعالِم الفيزياء النظرية الآخر فرانسوا إنجليرت ـ وهما مَن تَوَقَّعَا وجوده ـ على جائزة «نوبل». ■

1. Steinhauer, J. *Nature Phys.* http://dx.doi.org/10.1038/nphys3863 (2016).
2. Unruh, W. G. *Phys. Rev. Lett.* **46,** 1351–1353 (1981).
3. Steinhauer, J. *Nature Phys.* **10,** 864–869 (2014).
4. Weinfurtner, S. *et al. Phys. Rev. Lett.* **106,** 021302 (2011).


KAMIOKA OBSERVATORY, ICRR (INST. FOR COSMIC RAY RESEARCH), UNIV. TOKYO

كاشف «سوبر كاميوكاندي» الياباني ـ الواقع بالقرب من مدينة هيدا ـ يحلل نيوترينوات المادة، والمادة المضادة.

فيزياء

دليل النيوترينو لحلّ لغز الكون

قد يفسِّر سلوك جسيمات النيوترينو المراوِغة في المادة ـ المختلِف عنه في المادة المضادة ـ سَبَبَ هيمنة المادة.

إليزابيث جيبني

إنه أحد أكبر أسرار الفيزياء: لماذا يمتلئ الكون بالمادة، بدلًا من المادة المضادة. تُلمِّح حاليًّا تجربة في اليابان إلى تفسير محتمل، هو: قد تتصرف جسيمات تحت ذرية تُسمى نيوترينوات بصورة مختلفة في المادة عنها في المادة المضادة.

ربما نكتشف أن التفاوت ـ الذي أُعلن عنه في المؤتمر الدولي لفيزياء الطاقة العالية (ICHEP) في شيكاجو، إلينوي، في السادس من أغسطس الماضي ـ غير حقيقي؛ ولذلك نحتاج إلى جمع المزيد من البيانات للتحقق. يقول أندريه دي جوفيا، اختصاصي الفيزياء النظرية في جامعة نورث ويسترن في إيفانستون، إلينوي: "ربما تراهن على أن هذا الاختلاف موجود في النيوترينوات، ولكن من السابق لأوانه القول إن بإمكاننا رؤيته". ومع ذلك.. فمن المرجح أن يضفي ذلك الإعلان مزيدًا من الإثارة على دراسات النيوترينو، فتلك الجسيمات الوفيرة والمراوِغة تبدو على نحو متزايد مفتاحًا لحل جميع أنواع الألغاز في الفيزياء.

في تسعينات القرن الماضي، في تعارُض واضح مع توقعات النموذج الفيزيائي المعياري ـ النموذج الذي يقدم وصفًا جيدًا للطبيعة، ولكنه ناقص ـ تم العثور على النيوترينو، لامتلاكها كتلة، بدلًا من أن تكون عديمة الكتلة تمامًا (Y. Fukuda *et al*. *Phys*. *Rev*. *Lett*. **81**, 1562;1998). ومنذ ذلك الحين، انتشرت تجارب النيوترينو في كل أنحاء العالم، وأدرك الباحثون أن عليهم أن يدرسوا هذه الجسيمات؛ للحصول على تفسيرات جديدة في الفيزياء، حسبما يقول كيث ماتيرا، وهو فيزيائي يعمل على تجربة نيوترينو، تُسمى «نوفا» NOvA في مختبر فيرمي الوطني لتسريع الجزيئات (فيرميلاب) في باتافيا، إلينوي، الولايات المتحدة. ويصف جسيمات النيوترينو قائلًا: "إنها تُعَدّ بمثابة صدع في النموذج المعياري"، فلو كان قد تم إنتاج كلٍّ من المادة والمادة المضادة بكميات متساوية بعد الانفجار الكبير، لأبادت إحداهما الأخرى، ولم يبقَ منهما سوى إشعاع. وقد لاحظ علماء الفيزياء الاختلافات في سلوك بعض جسيمات المادة، وجسيمات المادة المضادة، مثل «الكاونات» kaons و«الميزونات بي» B mesons، ولكن ليس بما يكفي لتفسير هيمنة المادة في الكون.

> **«مقارنة بمعدلات التطور في فيزياء الجسيمات، فهذا تطوُّر سريع جدًّا بحق».**

وفرة غريبة

قد يكون أحد التفسيرات هو أن الجسيمات فائقة الثقل اضمحلت في بدايات الكون بطريقة غير متناظرة، وأنتجت مادة أكثر مما أنتجت مادة مضادة. ويَعتقد بعض علماء الفيزياء أن جسيمات ثقيلة الوزن لها صلة بالنيوترينو هي المسؤولة عن ذلك. وبموجب هذه النظرية، إذا تصرفت كل من النيوترينوات والنيوترينوات المضادة على نحو مختلف اليوم، فإن عدم توازن مماثلًا في نظيريهما القديمين من شأنه أن يفسر الغلبة الساحقة للمادة. ولاختبار ذلك، بَحَثَ العلماء في تجربة «تي تو كيه» Tokai to Kamioka (T2K) في اليابان عن الاختلافات في الطريقة التي تتذبذب بها نيوترينوات المادة والمادة المضادة بين ثلاثة أنواع، أو "نكهات"، أثناء تحركها. أطلقوا حِزَمًا من نيوترينوات ذات نكهة واحدة (ميون نيوترينو) من مجمع أبحاث مسرع البروتونات الياباني في قرية توكايمورا الساحلية إلى مرصد النيوترينو «سوبر كاميوكاندي» Super-Kamiokande detector، وهو خزان من الصلب، موضوع تحت الأرض على مسافة أكثر من 295 كم، وبه 50,000 طن من المياه. قام الفريق بِعَدِّ الإلكترون نيوترينوات التي ظهرت، ما يعني أن الميون نيوترينوات قد تحوَّلت في رحلتها إلى نكهة أخرى، ثم كرروا التجربة مع حزمة من الميون نيوترينوات المضادة.

وصرَّح كونوسوكي إيواموتو ـ وهو فيزيائي في جامعة روتشستر، نيويورك ـ خلال محاضرته التي ألقاها في المؤتمر الدولي لفيزياء الطاقة العالية، بأن الشعاعين تصرَّفا على نحو مختلف بعض الشيء.

توقَّع الفريق أنه لو لم يكن هناك فرق بين المادة، والمادة المضادة؛ لكان من شأن كواشفهم ـ بعد ما يقرب من 6 سنوات من التجارب ـ أن ترصد 24 إلكترون نيوترينوات، و7 إلكترون نيوترينوات مضادة، لأن من الصعب إنتاج المادة المضادة والكشف عنها. وبدلًا من ذلك رصدت كواشفهم 32 نيوترينو، و4 نيوترينوات مضادة فقط. ويقول تشانج كي يونج، الفيزيائي في جامعة ستوني بروك في نيويورك، والمشارك في تجربة تي تو كيه: "بدون الدخول في حسابات رياضية معقدة، يشير هذا إلى أن المادة، والمادة المضادة لا تتذبذبان بالطريقة نفسها".

ألمحت النتائج الأولية لتجارب كل من تي تو كيه، ونوفا إلى الفكرة نفسها، ولكن قد تكون هذه الملاحظات وليدة الصدفة. هناك فرصة واحدة في كل 20 فرصة (حوالي 2 سيجما بالمصطلح الإحصائي) لرؤية هذه النتائج، إذا كانت كل من النيوترينوات والنيوترينوات المضادة تتصرف على نحو مماثل، حسبما يقول يونج. وفي الدورة التالية في عام 2021 يجب أن تمتلك تجربة تي تو كيه بيانات أكثر بخمس مرات مما تملكه اليوم، ولكن الفريق سيحتاج إلى 13 ضعفًا إضافيًّا من البيانات؛ للوصول بالثقة الإحصائية في النتائج إلى 3 سيجما، وهي العتبة الإحصائية التي يمكن لمعظم الفيزيائيين عندها قبول البيانات (باعتبارها معقولة، وإنْ كانت غير مقنِعة تمامًا) كدليل على عدم التناظر.

لذلك اقترح فريق تي تو كيه تمديد تجربتهم حتى عام 2025؛ لجمع البيانات اللازمة. وهناك محاولة لتسريع عملية جمع البيانات، من خلال الجمع بين تلك النتائج، ونتائج تجربة نوفا، التي ترسل حزمة نيوترينو لمسافة 810 كيلومترات من مختبر فيرميلاب إلى منجم شمالي مينيسوتا. وقد أطلقت نوفا حزمة نيوترينو، ستتحول إلى حزمة نيوترينو مضاد في عام 2017. ويقول يونج إن الفريقين وَافَقَا على إنتاج تحليل مشترك، ويمكن أن يصلا معًا إلى 3 سيجما بحلول عام 2020. قد يحتاج الوصول إلى اليقين الإحصائي اللازم ليصبح هذا الاكتشاف رسميًّا (المقدر بـ5 سيجما) إلى جيل جديد من تجارب النيوترينو، التي يجري التخطيط لها في جميع أنحاء العالم بالفعل.

ويجمِّع علماء الفيزياء الاكتشافات المتعلقة بالنيوترينوات على أساس سنوي تقريبًا، حسبما يقول دي جوفيا. ويضيف: "مقارنةً بمعدلات التطور في فيزياء الجسيمات، فهذا تطوُّر سريع جدًّا بحق". ■

DAVID CYRANOSKI

هان تشينيو يصِرّ على أن إنزيم «ناجو» NgAge يمكنه تحرير الجينات.

التحرير الجيني

شكوك حول بديل «كريسبر»

التقارير التي تفيد بعدم إمكانية تكرار نتائج التجربة تتزايد، لكن الباحث متمسك بنظامه للتحرير الجيني «ناجو» NgAgo.

ديفيد كريانوسكي، شيجياتشوانج، الصين

يتصاعد الجدل الدائر حول ما إذا كانت تقنية تحرير الجينات المقترح استخدامها بدلًا عن كريسبر-كاس9 ناجعة.

فمنذ حوالي أربعة أشهر، أفاد هان تشينيو ـ عالِم الأحياء في جامعة هيبي للعلوم والتقنية في شيجياتشوانج ـ بأنه يمكن استخدام الإنزيم «ناجو» NgAgo لتحرير الجينات لدى الثدييات، بيد أن شكاوى العلماء تتزايد بشأن عدم تمكُّنهم من تكرار النتائج، على الرغم من أن أحد الباحثين أخبر *Nature* بأنه تمكَّن من ذلك. وتحقَّق الآن دورية نيتشر بيوتكنولوجي *Nature Biotechnology* ـ التي نَشرت البحث ـ في الأمر.

ويقول هان إنه يتلقى عشرات المكالمات والرسائل المزعجة كل يوم، تسخر منه، وتخبره بأن حياته المهنية قد انتهت، ولكن ذلك لا يزعزع اقتناعه بأن تقنيته سليمة. وفي 8 أغسطس، أدخل هان بروتوكول التجربة إلى مستودع الجينات «أدجين» Addgene، آملًا أن يساعد في الجهود الرامية إلى تكرار تجربته، ولكن علماء آخرين يقولون إن البروتوكول لا يوضح الأمور.

إنه رهان محفوف بالمخاطر. فعلى مدار السنوات القليلة الماضية، أحدث كريسبر-كاس9 تحولًا في علم الأحياء، ولكنه أيضًا زاد من نهم العلماء للتوسع في أدوات تحرير الجينات (انظر: «دليلك للطرق العديدة الأخرى لتحرير الجينوم»). ويُعَدّ ناجو واحدًا من تلك الطرق. ويقول جورج تشيرتش، اختصاصي علم الوراثة بكلية الطب بجامعة هارفارد في بوسطن، ماساتشوستس: «الكثير منا يشجع هذا العمل تشجيعًا حقيقيًّا، ويأمل في أن ينجح».

ويستخدم كريسبر-كاس9 متواليات جينية صغيرة، لتوجيه إنزيم محدد لقطع الحمض النووي DNA في موقع محدد. وفي الورقة البحثية المنشورة في نيتشر بيوتكنولوجي *Nature Biotechnology*، أفاد فريق هان بأن استخدام مجموعة متنوعة من المتواليات الجينية لتوجيه ناجو ـ الذي ينتمي إلى عائلة البروتينات Argonaute (Ago) ، التي عَدَّها آخرون محررات جينية محتملة ـ لتحرير ثمانية جينات مختلفة في الخلايا البشرية، ولإدخال الجينات في نقاط محددة من الكروموسومات (F. Gao *et al*. *Nature Biotechnol*. **34,** 768–773; 2016).

ولا يقطع ناجو إلا الجينات المستهدَفة فقط، حسب قول هان، في حين أن كريسبر-كاس9 يحرر أحيانًا جينات خاطئة. ويضيف قائلًا إن كريسبر-كاس9 يتطلب أن تكون المتوالية الجينية قريبة من موقع القطع؛ ليتمكن من تنشيطها، ولكن ناجو لا يتطلب ذلك، مما يوسع نطاق استخدامه.

كان الاحتفاء هو رد الفعل الأوَّليّ على العمل في الصين، الذي شمل زيارة تليفزيون الصين المركزي للمعمل. كان رد الفعل جارفًا، كما يقول هان؛ البالغ من العمر 42 عامًا، ولا يحب السفر، ولم يسبق له أن غادر الصين، حيث كانت

ما بعد «كريسبر»

دليلك للطرق العديدة الأخرى لتحرير الجينوم

تُمكّن تقنية كريسبر-كاس9 العلماء من تعديل الجينومات بصورة عملية عند الحاجة إلى ذلك. وقد شاع استخدامها في المَعامل في جميع أنحاء العالم، مع إيجاد استخدامات جديدة لها في الطب وأبحاث العلوم الأساسية.

وتَكَشَّف الحماس الذي اندفع به الباحثون تجاه احتمال وجود نظام جديد يُسمى «ناجو» NgAgo في وقت سابق من هذا العام عن وجود شعور مستتر بالإحباط بشأن كريسبر-كاس9، ودوافع لإيجاد بدائل. يُعَدّ بعض هذه البدائل تنويعات من كريسبر؛ في حين يوفر البعض الآخر طرقًا جديدة للتحرير الجيني (للاطلاع على المزيد، انظر: go.Nature.com/2bbgxwb).

كاس9 مصغر

يمكن أن يُستخدم نظام كريسبر-كاس9 في يوم من الأيام لإعادة كتابة الجينات المسؤولة عن الأمراض الوراثية، بيد أن مكونات النظام (التي هي بمثابة إنزيم يُسمى كاس9، وجديلة من الحمض النووي الريبي RNA ترشده إلى المتوالية المطلوبة) كبيرة إلى درجة لا تسمح بإدخالها إلى الجينوم الخاص بالفيروس، وهي طريقة شائعة في العلاج الجيني لإدخال مادة وراثية غريبة إلى الخلايا البشرية.

عندئذ قد يكون الحل بمثابة «كاس9 مصغر» مستخرج من بكتيريا *Staphylococcus aureus* . سيكون الإنزيم في هذه الحالة صغيرًا بما يكفي لإدخاله إلى الفيروس المستخدَم في واحد من العلاجات الجينية المتوفرة حاليًّا في السوق. وقد استخدمت مجموعتان من الباحثين حتى الآن كاس9 المصغر في الفئران، لتصحيح الجين المسؤول عن مرض الحثل العضلي دوشين.

توسيع النطاق

أن يكون كاس9 ناجعًا في كل جزء من الجينوم يتم توجيهه إليه، فيتعين أن توجد متوالية حمض نووي معينة بالقرب منه؛ ليتم الأمر بنجاح. يُعَدّ هذا المطلب سهل التحقق في عديد من الجينومات، ولكنه عسير في بعض التجارب. ويأمل الباحثون أن تمدّهم الميكروبات بالإنزيمات التي لها متطلبات مختلفة فيما يتعلق بمتواليات الحمض النووي، بهدف التوسع في عدد المتواليات التي يمكن تعديلها.

ويمكن أن يصبح أحد هذه الإنزيمات، ويُسمى Cpf1، بديلًا جذابًا. وحيث إنه أصغر من كاس9، فإن له متطلبات مختلفة، ويسهل توجيهه بدقة كبيرة.

ويستهدف إنزيم آخر يُسمى C2c2 الحمض النووي الريبي RNA بدلًا من الحمض النووي DNA، وهي خاصية يمكن بواسطتها دراسة الحمض النووي الريبي ومكافحة الفيروسات باستخدام جينوماته.

محرِّرات حقيقية

تستخدم معامل عديدة كريسبر-كاس9 لحذف مقاطع من الجينات فقط، وبالتالي إيقاف نشاطها. ويقول جورج تشيرتش، المتخصص في علم الوراثة في كلية الطب بجامعة هارفارد في بوسطن، ماساتشوستس: "يشعر الناس بزهو الانتصار كلما أتموا عملية تحرير كهذه، بيد أن حرق صفحة من الكتاب لا يُعَدّ تحريرًا له".

أما أولئك الذين يرغبون في مبادلة متوالية بأخرى، فإنهم يواجهون مهمة أكثر صعوبة. فعندما يقطع كاس9 الحمض النووي، فإنه غالبًا ما تحدث أخطاء في الخلية أثناء توصيل الأطراف المقطوعة ببعضها

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

رحلته لزيارة أحد المساهمين في العمل في هانجشتو في مارس، هي المرة الأولى التي يستقل فيها طائرةً في حياته. وحين تحدث إلى *Nature* في معمله، وفي أحد المطاعم، قال إنه "كان مغمورًا تمامًا" قبل أن ترى ورقته البحثية النور. وظهرت الشكوك حول البحث للمرة الأولى في بداية يوليو، عندما كتب فانج شيمين ـ المتخصص السابق في الكيمياء الحيوية، الذي اكتسب شهرته من فضْح العلماء المحتالين ـ على موقعه «نيو ثريدس» New Threads (xys.org) أنه كان قد سمع بتقارير حول إخفاق جهود لتكرار التجربة، وزعم أن ورقة هان البحثية غير قابلة للتكرار. وسرعان ما انتقل النقد إلى العديد من المواقع الصينية.

وفي 29 يوليو، نشر جايتان بورجيو ـ عالِم الوراثة في الجامعة الأسترالية الوطنية في كانبيرا ـ على مدونته تفاصيل شاملة عن محاولته الفاشلة لتكرار نتائج التجربة. في العادة، تحصل منشوراته على اهتمام العشرات، ولكن هذا المنشور حصل على إعجاب ما يزيد على 5,000 شخص.

وفي اليوم نفسه، أرسل عالِم الوراثة لويس مونتوليو في المركز الوطني الإسباني للتقنية الحيوية في مدريد رسالة إلكترونية لزملائه في المجتمع الدولي لتقنيات التعديل الجيني (ISTT)، ليوصيهم بـ"تجاهل أي مشروع يتضمن استخدام ناجو". وقد تم تسريب الرسالة ونُشرت على موقع فانج.

وقد انتهى مسح أجري على شبكة الإنترنت بواسطة عالِم الأحياء الجزيئية بوران ديوَاري ـ من مركز الطب التجديدي التابع للمجلس البريطاني للبحوث الطبية، في إدنبرة بالمملكة المتحدة ـ إلى أنه لا يوجد سوى 9 باحثين فقط يقولون إن ناجو صالح، بينما يخالفهم الرأي 97 باحثًا. وفي مجموعة دردشة عبر الإنترنت، يقول باحثان أفادا سابقًا بنجاح ناجو، إنهما كانا مخطئَين.

ويقول ديبوجيوتي تشاكرابورتي ـ عالِم الأحياء الجزيئية، في معهد علوم الجينوم والأحياء التكاملية، التابع لمجلس البحوث العلمية والصناعية في نيودلهي ـ إنه كرر قسمًا من ورقة هان البحثية، التي وصف فيها استخدام ناجو "ليُجهز" على جين خاص ببروتين فلوري. قلَّ التوهج الفلوري في الخلايا التي عمل عليها تشاكرابورتي، ولذا افترض أن ناجو ثبَّط الجين بالفعل، ولكن إعادة تسلسل الحمض النووي كشفت عن عدم وجود أي دليل على أي جينات محررة. وبالمثل، يصف جان وينتر ـ طالب الدكتوراة في مجال علم الجينوم في مركز أبحاث السرطان الألماني في هايدلبرج ـ تجربة مشابهة.

يملك هان نظامًا لا يعمل إلا على الخلايا المستنبتة في معمله. فقد أخفق حين استخدم خلايا جَلَبَها من الخارج، اكتشف لاحقًا أنها ملوثة ببكتيريا *Mycoplasma*. ويقول إنه من الممكن أن تكون المشكلة هي نفسها لدى آخرين، وربما يكون بعض طلاب الدراسات العليا لا يجيدون التعامل مع الكواشف. ويختلف وينتر مع وجهة النظر هذه، قائلًا: "لا أعتقد أن السبب في المشكلة خطأ ارتكبه العلماء".

JCSMR/ANU

«ناجو غير جدير بالسعي وراءه، فهو لن يفوق كريسبر بقدر كبير».
جايتان بورجيو

وقد صرَّح لدورية *Nature* أحد الباحثين في الصين (طلب عدم ذكر اسمه في ظل الجدل القائم) بأنه قد اختبر ناجو في بعض أنواع الخلايا، ووجد أنه كان قادرًا على تحفيز الطفرات الجينية في المواقع المرغوب فيها، وهي نتيجة تثبَّت من صحتها بعمل التسلسل الجيني. وأضاف قائلًا إن العملية كانت أقل فاعلية من كريسبر-كاس9، "ولكنها ـ باختصار ـ ناجحة".

وقال عالِمان صينيان آخران (طلبا عدم الكشف عن اسميهما) إن لديهما نتائج أولية تُظهِر نجاح تقنية ناجو، ولكنهما ما زالا يحتاجان إلى التثبت منها بعمل التسلسل الجيني.

يقول بورجيو: "مِن الوارد أن ينجح ناجو، ولكنْ إنْ نجح؛ فسينطوي استخدامه على تحديات تجعل منه غير جدير بالسعي وراءه، فهو لن يفوق كريسبر بقدر كبير".

ويضيف قائلًا إنه لا يوجد جديد في البروتوكول المراجَع على أدجين، إلا النذر اليسير. ويرد في البروتوكول تحذير يوصي بالحفاظ على مستويات المغنسيوم في الخلايا، يعلق عليه بورجيو قائلًا: "لكنه لا يعني أي شيء بالنسبة لي". كما يرد تحذير من التلوث ببكتيريا *Mycoplasma*، ولكن مونتوليو ـ الذي فكَّر في منح ناجو فرصة أخرى في سبتمبر ـ يشكك في مسؤوليتها عن جميع المشكلات المُبَلَّغ عنها.

ويقول جون فون دير أوست ـ عالِم الأحياء الدقيقة لدى جامعة فاجينينجن في هولندا ـ إن إخفاق ناجو "سيكون أمرًا محبِطًا". وقد شارك جون في تحليل لبروتينات Argonaute نُشر عام 2014 وضع حجر الأساس لاستخدامها في تحرير الجينات (D. C. Swarts *et al*. *Nature* **507**, 258–261; 2014). ويضيف: "ولكن حينها سيكون علينا العمل لمعرفة ما إذا كانت نظم Argonaute أخرى يمكنها إنجاز الأمر بطريقة أو بأخرى".

في الأسبوع الأول من أغسطس الماضي، أرسلت دورية نيتشر بيوتكنولوجي *Nature Biotechnology* بيانًا إلى فريق أخبار دورية *Nature*، والدوريتان مستقلتان تحريريًّا عن الأخرى، يفيد بأن "العديد من الباحثين" تواصل مع الدورية؛ ليفيد بعدم تمكُّنه من تكرار نتائج هان، وبأن "الدورية اتخذت الإجراءات المتبعة؛ للتحقق في الأمر".

وتقول جامعة هيبي إنها سوف تطلب من هان أن يعيد التجربة، بحيث يمكن التحقق منها بواسطة طرف مستقل، في غضون شهر، وفقًا للإعلام الرسمي الصيني. ■

شارك في إعداد التقرير: هايدي ليدفورد.



بروتين ينتمي إلى عائلة Argonaute يُعَدّ واحدًا من البدائل المتعددة لنظام التحرير الجيني كريسبر-كاس9.

LAGUNA DESIGN/SPL

البعض. وتنْتُج عن ذلك إزالات، مثل تلك التي يتطلع إليها العديد من الباحثين، ولكن الباحثين الذين يريدون إعادة كتابة متوالية من متواليات الحمض النووي يعتمدون على مسار تصحيحي مختلف، يمكِّنهم من إدخال متوالية جديدة، وهي عملية تتكرر بمعدلات أقل بكثير من معدلات الخطأ التي تحدث عند توصيل الأطراف المقطوعة. وتؤدي هذه الكفاءة المنخفضة إلى مشكلات في عديد من الكائنات، بما في ذلك بعض النباتات. ويقول عالِم النبات دانيال فويتاس بجامعة مينيسوتا في سانت بول: "يقول الجميع إن المستقبل ينتظر تحرير العديد من الجينات دفعة واحدة، وأنا أقول إننا لا نستطيع اليوم تحرير جين واحد فقط، بكفاءة معقولة".

إنّ التطورات التي شهدتها الأشهر القليلة الماضية منحت فويتاس بعض الأمل.. فقد توصَّل فريقان من الباحثين إلى تقنيات تعطِّل كاس9، ثم تربطه بإنزيم يحوِّل أحد حروف الحمض النووي إلى حرف آخر. ويأمل فويتاس وآخرون في أن يتيح ربط إنزيمات أخرى بإنزيم كاس9 الفرصة لإجراء تعديلات على أنواع مختلفة من المتواليات.

استهداف Argonautes

أثار باحثون موجة من الدهشة، عندما زعموا في مايو أن بوسعهم استخدام بروتين من عائلة Argonaute، يُسمى «ناجو» NgAgo؛ لقطع الحمض النووي في مواقع محددة مسبقًا، دون الحاجة إلى حمض نووي ريبي لإرشاده، أو إلى وجود متوالية جينومية محددة بالجوار (F. Gao *et al*. *Nature Biotechnol*. **34**, 768–773; 2016).

بيد أن المعامل أخفقت حتى الآن في تكرار نتائج تلك التجربة. ورغم ذلك.. ما زال هناك أمل في أن تستطيع أنواع أخرى من بروتينات Argonautes أن تخلق فرصًا واعدة، حسبما يقول جين سو كيم، المتخصص في الهندسة الوراثية في معهد العلوم الأساسية في سول.

إنزيمات برمجية

لا تزال نظم تحرير جيني أخرى قيد التطوير، على الرغم من أن بعضها مضى على محاولات تطويره الأولى سنوات. ولإنجاز مشروع بكتيري ممتد، لم يَسْعَ معمل تشيرتش على الإطلاق للحصول على كريسبر. وبدلًا من ذلك.. اعتمد الفريق بكثافة على نظام يُسمى «لامبدا ريد» lambda Red، يمكن برمجته لتعديل متواليات الحمض النووي، دون الحاجة إلى حمض نووي ريبي لإرشاده، ولكنْ رغم أن دراسة هذا النظام قد استغرقت 13 عامًا في معمل تشيرتش، فإنه لا يعمل إلا على البكتيريا فقط.

ويقول تشيرتش، وفينج جانج ـ المتخصص في الهندسة الحيوية لدى معهد برود، التابع لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا وجامعة هارفارد في كمبريدج بولاية ماساتشوستس ـ إن مَعامِلهما تعمل أيضًا على تطوير إنزيمات تُسمى «integrases and recombinases» لاستخدامها في التحرير الجيني. ويقول جانج: "باستكشاف إنزيمات متنوعة، يمكننا أن نجعل من صندوق أدوات التحرير الجيني أكثر قوة. وينبغي علينا أن نواصل السعي وراء استكشاف المجهول". **هايدي ليدفورد**

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

علم الإنسان

اطبع نسخة ثلاثيـة الأبعـاد من أشباه البشـر لكي تعرف كيف ماتت لوسي

سيساعد المسح الرقمي على معرفة ما إذا كانت *Australopithecus* الشهيرة قد سقطت عن شجرة، أم غير ذلك.

إوين كالاواي

أصبحت الحفرية العالمية الأشهر مفتوحة المصدر الآن. فقد تم الكشف عن مسح ثلاثي الأبعاد للوسي، إحدى أشباه البشر التي عاشت منذ 3.18 مليون عام، وتم العثور عليها في إثيوبيا، وذلك في التاسع والعشرين من أغسطس؛ للسماح لأي شخص بتفحُّص عظام ذراعها، وكتفها، وركبتها، بل وطباعة نُسَخ ثلاثية الأبعاد منها.

يترافق هذا المسح مع ورقة بحثية نُشرت في دورية *Nature* تقول إنّ لوسي، المنحدرة من أسلاف الإنسان، والمنتمية إلى فصيلة *Australopithecus afarensis*، لقيت حتفها بعد سقوطها عن شجرة (J. Kappelman *et al.* *Nature* http://dx.doi.org/10.1038/nature19332; 2016). أتاح الفريق الذي قدم هذه الورقة البحثية هذا المسح للجمهور، متحمسًا لاختبار باحثين آخرين لفرضياتهم عن طريق طباعة العظام.

يقول جون كابلمان، قائد الفريق البحثي واختصاصي علم الإنسان القديم بجامعة تكساس بأوستن: "أَنْ تصف العظام بالتفصيل في الورقة البحثية شيء، وأنْ تتمكن من طباعتها وحَمْلها، والنظر إليها، وضَمّ بعضها إلى بعض، شيء آخر".

وتَلَقَّى فريق كابلمان موافقة المتحف الوطني الإثيوبي وحكومة إثيوبيا على إتاحة نماذج لوسي للعامة. يقول كابلمان: "شعرتُ بأن الإثيوبيين لا يعتبرون لوسي كنزهم الوطني فقط، ولكن يرون فيها أيضًا كنزًا للبشرية"، ويأمل كابلمان أن تتيح إثيوبيا قريبًا المسح الرقمي لبقية جسد لوسي، وأن تحذو الدول الأخرى حذو إثيوبيا فيما يخص حفريات أشباه البشر.

تقول لويس ليكي، عالمة الأحياء القديمة بجامعة ستوني بروك بنيويورك: "لقد قامت إثيوبيا بخطوة إيجابية، قد تشجِّع الدول الأخرى المترددة على فعل الشيء نفسه".

يقول كابلمان وآخرون إن هذا الإجراء قد يهدد المتاحف المتعثرة ماليًّا ـ والعديد منها في أفريقيا ـ المعتمدة في بقائها على الدخل الذي يدرُّه عرْض مجموعاتها الحفرية.

استغرق التحضير للظهور الرقمي الأول للوسي 8 سنوات، ومكث ما يصل إلى 40% من بقاياها الكاملة 10 أيام في معمل كابلمان في أغسطس 2008 خلال جولة في الولايات المتحدة. فقد عمل فريق كابلمان ليل نهار؛ لمسح كل قطعة من عدة مئات من القطع العظمية باستخدام جهاز التصوير المقطعي المحوسب.

أظهر الفحص الدقيق كسورًا غير عادية؛ فاحتوت نهاية عضدها الأيمن المتصلة بكتفها على سلسلة من الكسور النظيفة وانضغاطًا يماثل ما يراه جرّاحو العظام لدى الأشخاص الذين حاولوا تفادي السقوط بفرد أذرعهم. يتوافق الضرر الموجود في حوض لوسي وكتفها اليسرى وركبتها وكاحلها الأيمن مع السقوط من ارتفاع شاهق. ويقدِّر فريق كابلمان أن لوسي قد سقطت عن شجرة، يتجاوز ارتفاعها 10 أمتار، وماتت متأثرة بإصابتها الناتجة عن سقوط، الذي بلغت سرعته 60 كيلومترًا في الساعة.


MARSHA MILLER/UT AUSTIN

عظام ذراع لوسي أثناء خضوعها للتصوير المقطعي المحوسب.

أصول شجرية

ليس واضحًا مدى الاستعداد الذي كانت عليه لوسي للعيش بين الأشجار. فقد كانت لوسي تمشي مستقيمة، ولكن ربما كانت تتمسك بمهارات التكيف الذي ساعد أسلافها على التعايش بين الأشجار، ومع ذلك، فإن هذه الفكرة محل جدل ساخن. يعتقد فريق كابلمان أن لوسي كانت تنام فوق الأشجار؛ لتتجنب الحيوانات المفترسة، ولكنها لم تملك مهارة أسلافها الأكثر شبهًا بالقرود. ويضيف كابلمان: "إنها أشهر حفرية على سطح الكوكب، ومحور جدل حول وجود مرحلة العيش بين الأشجار في تطور الإنسان، ونعتقد أنها ماتت على الأرجح من جرّاء السقوط عن شجرة".

يساور الشك مارك ماير ـ اختصاصي علم الإنسان القديم بكلية تشافي في رانشو كوكامونجا بولاية كاليفورنيا ـ الذي تفحَّص لوسي حديثًا في أديس أبابا. فغالبًا ما تكسر قرود الشامبانزي عمودها الفقري عندما تسقط عن الأشجار، ولكن ماير يوضح قائلًا: "عمود لوسي الفقري غير متضرر بالقدر المتوقع رؤيته في سقطة مميتة كتلك".

لاحظ مكتشفو لوسي عظامها المكسورة عندما وجدوها، ولكنهم افترضوا أن هذه الكسور حدثت بعد الوفاة. ويؤيد هذا التفسير دونالد جوهانسن ـ اختصاصي علم الإنسان القديم في جامعة ولاية أريزونا في تيمبي ـ الذي عثر على لوسي في عام 1974. ويضيف قائلًا إن العظام المكسورة ـ مثل عظام لوسي ـ شائعة في البقايا الحفرية التي عُثر عليها على مقربة منها.

يتحمس كابلمان لأنْ يختبر الآخرون نظريته. وتتوفر نماذج رقمية لأجزاء من ركبة لوسي اليسرى، وكتفها الأيمن، وذراعها على موقع: eLucy.org.

وعلى الرغم من أن العظام المطبوعة، والنماذج الافتراضية قد تكون مفيدة، إلا أن ماير يقول إنه لا بديل عن رؤية الحفرية نفسها. فقد وجد ماير فروقًا واضحة بين *Ardipithecus ramidus* ـ أحد أشباه البشر الذي عاش منذ 4.4 مليون سنة، وعُثر عليه في إثيوبيا أيضًا ـ والنموذج الذي درسه. واشتملت هذه الفروق على عيوب وتشوهات موجودة في الحفرية، وغائبة عن النموذج.

تنزيلات رقمية

تُعَدّ النماذج الرقمية من حفريات أشباه البشر نادرة، ولكن القليل منها متوفر. يمكن تنزيل حوالى 100 من 1,500 من البقايا المنسوبة إلى أحد أشباه البشر *Homo naledi*، الذي اكتُشِف في عام 2013 في نظام كهفي بجنوب أفريقيا من على موقع: MorphoSource.org، كما يمكن تنزيل نماذج *Australopithecus sediba*، الذي عَثَر عليه الفريق نفسه في عام 2008.

يحتوى موقع AfricanFossils.org ـ الذي يتيح نماذج رقمية تعليمية من حفريات أشباه البشر، وتديره ليكي ـ على عدة عينات مهمة من كينيا. وبرغم أن النماذج التي يقدمها الموقع كافية للطباعة ثلاثية الأبعاد في عديد من الحالات، فإنها ذات دقة متدنية، وذلك لتجنُّب انخفاض إيرادات بيع النسخ المادية.

يريد كابلمان لمثل هذا الإيراد أن يستمر، باستخدام طرق معينة، مثل عمل نماذج مجانية ذات جودة أقل، وبيع النسخ الرقمية عالية الجودة للباحثين بمقابل مادي. ويقول كابلمان: "نحتاج إلى التعاون من أجل وضع نموذج عمل جيد يمكِّن هذه المتاحف مِن أن تُحَصِّل بعض الإيرادات من هذه البيانات".

ورغم ذلك، ترى ليكي أن بيع النماذج سيقلل من حجم الوصول إليها، كما تشير إلى إمكانية تعرُّضها للقرصنة بسهولة، وتردف: "وَلَّت أيام تَخْبِئَة مثل هذا المحتوَى بعيدًا عن الأنظار؛ فبمجرد أن تتيح النموذج ثلاثي الأبعاد؛ يغدو من المستحيل التحكم فيه". ■

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية



ILLUSTRATION BY RICHARD WILKINSON

اختناق النطاق الترددي

الباحثون يتدافعون لإصلاح وتوسيع ممرات نقل البيانات حول العالم، للحيلولة دون توقف عجلة ثورة المعلومات.

جيف هيكت

في التاسع عشر من شهر يونيو الماضي، ولج إلى شبكة الإنترنت مئات الآلاف من الأمريكيين من عشاق الدراما التلفزيونية «صراع العروش» Game of Thrones؛ لمشاهدة حلقة انتظروها بلهفة؛ فتسببوا ـ في غضون ذلك ـ في إخفاق جزئي في خدمة البث عبر الإنترنت، التي تقدمها قناة «إتش بي أوه» HBO؛ مما جعل حوالي 15 ألف مشاهد يستشيطون غضبًا أمام الشاشات الفارغة لمدة تزيد على الساعة.

اعتذرت القناة عن الواقعة، ووعدت بتفادي تكرارها، إلا أن ما حدث لم يكن سوى مثال واحد اشتُهر على نطاق واسع، يدل على مشكلة مُلِحَّة، وهي أنه مع نمو حركة الإنترنت حول العالم بما يقدر بحوالي 22% سنويًّا، نجد أن الطلب على النطاق الترددي يتجاوز بسرعة أقصى ما يستطيع مزوِّدو الخدمة تقديمه من مجهودات.

وعلى الرغم من إحراز تقدُّم هائل منذ التسعينات ـ عندما كان يتعين على مستخدمي الشبكة الأوائل استخدام أجهزة مودم تعمل بطلب رقم المشترِك، وتحمُّل بطء الخدمة ـ فما زالت شبكة الإنترنت خليط عمل عالمي غير متجانس، مبنيّ على نظام هاتفي يبلغ من العمر قرنًا من الزمن. استُبدلت الخطوط النحاسية التي كانت تشكِّل قلب هذا النظام بكابلات من الألياف الضوئية، تحمل تريليونات البتات كل ثانية بين مراكز البيانات الهائلة، إلا أن مستويات الخدمة على الوصلات المحلية أدنى في المستوى من ذلك بكثير. وبالنسبة إلى المستخدِم، قد يبدو الاتصال بالإنترنت أشبه بقيادة سيارة على طريق موحل.

تهدِّد الاختناقات المرورية الرقمية الناتجة عن ذلك بوقف مسار ثورة تكنولوجيا المعلومات. وبإمكان المستهلكين أن يشعروا بهذه القيود بالفعل عندما تتداخل مكالمات الهاتف الجوال في الأوقات المزدحمة، وتتباطأ وصلات

البيانات حتى تصل إلى سرعة السلحفاة في مراكز المؤتمرات المكتظة، وتتوقف خدمات بث الفيديوهات أثناء أوقات الذروة في معدلات المشاهدة. وللأسف تدرك شركات الإنترنت أن الشبكة اليوم ليست مهيأة على الإطلاق للمستقبل الواعد ببث الفيديوهات عالية الوضوح على الأجهزة الجوالة، والمركبات ذاتية التحكم، والجراحة عن بُعْد، والوجود عن بُعْد بتقنيات الواقع الافتراضي، والألعاب التفاعلية ثلاثية الأبعاد التي تستخدم تلك التقنيات هي الأخرى.

لهذا السبب ينفقون مليارات الدولارات؛ بغية القضاء على الاختناقات المرورية، وإعادة بناء الإنترنت بشكل ديناميكي، وهو ـ على نطاق واسع ـ جهد يُعتبر عالي الأهمية بالنسبة إلى الثورة الرقمية، مثله مثل زيادة القدرة الحاسوبية. وقد دخلت شركة «جوجل» في مشارَكة مع خمس شركات اتصالات آسيوية لمَدّ كابل ألياف ضوئية يبلغ طوله 11,600 كيلومتر، وتبلغ تكلفته 300 مليون دولار أمريكي بين ولاية أوريجون، واليابان، وتايوان، وقد دخل الخدمة في شهر يونيو الماضي. وتعكف شركتا «مايكروسوفت»، و«فيسبوك» على مَدّ كابل آخر عبر المحيط الأطلسي، على أن يدخل الخدمة في العام المقبل. ويقول إريك كرايفيلت، الخبير في الكابلات البحرية في شركة «تيلي جيوجرافي» TeleGeography لبحوث أسواق الاتصالات في العاصمة واشنطن: "تقوم هذه الشركات بضخ تلك الاستثمارات الكبيرة؛ لدعم أعمالها الخاصة"، إذ لا يمكن لهذه الشركات تحمل الاختناقات.

إن مَدّ كابل جديد عالي السرعة هو أحد الإجراءات التحسينية. ويعكف الباحثون والمهندسون أيضًا على تجربة حلول أخرى عديدة، بداية من تسريع شبكات المحمول، وانتهاءً بالشحن التوربيني للخوادم التي تُرَحِّل البيانات حول العالم.

الجيل الخامس

في الوقت الراهن على الأقل، يسهل نسبيًّا حل جزء من مشكلة التوسع. فهناك مناطق كثيرة في أوروبا وأمريكا الشمالية مليئة بـالألياف «السوداء» بالفعل، وهي بمثابة شبكات من الألياف الضوئية، قام بمدِّها مستثمرون متفاؤلون بشدة، أثناء الفترة المعروفة باسم «فقاعة الإنترنت»، التي انفجرت في عام 2000؛ وهي لم تُستخدم أبدًا. واليوم، يستطيع مزودو الخدمة في أغلب الأحوال تلبية الطلب المتزايد بالشروع ـ ببساطة ـ في استخدام بعض هذه الألياف السوداء.

مِثْل هذه الوصلات الدائمة لا تقدم يد العون للهواتف المحمولة وأجهزة تتبع اللياقة البدنية، وأجهزة الواقع الافتراضي التي يتم ارتداؤها على الرأس، وغيرها من الأجهزة الآخذة في الظهور الآن. تشهد حركة نقل البيانات من الأجهزة المحمولة ازديادًا بما يقدَّر بحوالي 53% سنويًّا، غالبيتها سينتهي بها الحال إلى المرور عبر أبراج الهواتف المحمولة، أو «المحطات القاعدية»، التي توفر تغطية متفاوتة، والتي يجب أن يشترك آلاف المستخدمين في نطاقها الترددي.

إنّ الجودة متفاوتة هي الأخرى.. فشبكات الهاتف المحمول من الجيل الأول ـ التي طُرحت لأول مرة في الثمانينات ـ كانت تستخدم الإشارات التماثلية؛ وقد اندثرت منذ زمن، لكن شبكات الجيل الثاني (2G)، التي أضافت خدمات رقمية ـ كإرسال الرسائل النصية في أوائل التسعينات ـ ما زالت تشكّل 75% من اشتراكات الهواتف المحمولة في أفريقيا والشرق الأوسط، وقد بدأ للتَّوّ إلغاؤها تدريجيًّا في أماكن أخرى. وحتى السنة الماضية، كان أغلب مستخدمي الهواتف المحمولة في أوروبا الغربية يعملون على شبكات الجيل الثالث (3G)، التي دُشنت في أواخر التسعينات؛ للسماح بتقديم خدمات رقمية أكثر تطورًا، مثل الاتصال بالإنترنت.

أما الشبكات التجارية الأكثر تقدمًا، فتستخدِم الآن الجيل الرابع (4G)، الذي دُشن في أواخر العقد الأول من القرن الجاري؛ لكي يوفر للهواتف الذكية سرعات واسعة النطاق الترددي تصل إلى 100 ميجا بت في الثانية، وهو يشهد الآن انتشارًا سريعًا، لكن خبراء الصناعة يقولون إن تلبية الطلب المتوقع بحلول عشرينات القرن الحالي سيقتضي من مقدمي الخدمة البدء في استخدام تكنولوجيا الجيل الخامس (5G)، التي هي أسرع 100 مرة على الأقل، حيث تُقَدَّر سرعاتها العليا بعشرات المليارات من البتات في الثانية.

يقول رحيم تفضلي ـ رئيس معهد نظم الاتصالات في جامعة سري في جيلدفورد بالمملكة المتحدة ـ إن إشارات الجيل الخامس سيتعين أيضًا تَشارُكها على نطاق أوسع كثيرًا جدًّا مما هو ممكن الآن. ويضيف: "الهدف هو إمكانية دعم مليون جهاز في كل كيلومتر مربع"، ما يكفي لاستيعاب شبكة "إنترنت الأشياء" الناشئة، بدءًا من الأجهزة المنزلية المتصلة بالشبكة، حتى أجهزة التحكم في الطاقة، والمراقبة الطبية، والمركبات ذاتية التحكم (انظر: «هندسة الاختناقات»).

يتم تنسيق الانتقال إلى الجيل الخامس ـ مثلما حدث وقت الانتقال إلى الجيليْن الثالث والرابع من قبل ـ من قِبَل اتحاد صناعي احتفظ باسمه إلى الآن، وهو «مشروع مشارَكة الجيل الثالث» (3GPP). يعمل تفضلي مع هذا الاتحاد؛ لاختبار تقنية الإدخال المتعدد والإخراج المتعدد (MIMO)، وهي في جوهرها طريقة لجعل كل تردد لاسلكي يحمل الكثير من تدفق البيانات في المرة الواحدة، دون السماح لها بالاختلاط والتحول إلى بيانات عديمة النفع. تتمثل الفكرة في وضع هوائيات متعددة على كل من المرسِل والمستقبِل، مما ينشئ طرقًا كثيرة، تغادر من خلالها الإشارات أحد الهوائيات؛ لتذهب إلى آخَر. وتستطيع عملية المعالجة المتطورة للإشارات التمييز بين مختلف المسارات، واستخلاص تدفق مستقل من البيانات من كل منها.

تُستخدم تقنية MIMO بالفعل في شبكات الإنترنت اللاسلكي (Wi-Fi)، وشبكات الجيل الرابع، إلا أن صغر حجم الهواتف الذكية يُقْصِرها حاليًّا على أربعة هوائيات بحد أقصى لكل جهاز، والعدد نفسه فيما يخص المحطات القاعدية. وبالتالي، فإن أحد الأهداف الأساسية لبحوث الجيل الخامس هي إقحام المزيد من الهوائيات في تصميم كل من الهواتف الذكية، والمحطات القاعدية.

وقد طرحت شركات التقنيات اللاسلكية الكبرى أجهزة تعمل بتقنية MIMO، تضم عددًا كبيرًا جدًّا من الهوائيات في المختبرات، وفي المعارض التجارية. ففي المؤتمر العالمي للجوال، الذي انعقد في مدينة برشلونة الإسبانية في فبراير الماضي، أقامت شركة «إريكسون» Ericsson لصناعة المعدات عروضًا داخلية حية لنظام ضخم متعدد المستخدمين، يعمل بتقنية MIMO، وذلك باستخدام هوائي مؤلف من 512 عنصرًا؛ لبث 25 جيجا بت في الثانية بين طرفين؛ إحداهما ثابت، والآخر يتحرك على قضبان. يمثل هذا النظام الربع الأول من الطريق نحو تحقيق هدف الجيل الخامس بسرعة 100 جيجا بت، وهو يقوم بالنقل عند تردد 15 جيجا هيرتز، وذلك جزء من النطاق عالي التردد المخطط للجيل الخامس. وتعمل شركة الاتصالات اللاسلكية اليابانية NTT DoCoMo مع شركة «إريكسون»؛ لاختبار المعدات خارجيًّا، كما تخطط شركة «كوريا تليكوم» Korea Telecom حاليًّا لتنفيذ بيان عملي لخدمات الجيل الخامس أثناء استضافة كوريا الجنوبية دورة الألعاب الأولمبية الشتوية القادمة في عام 2018.

كما أنه ثمة نهج آخر يمكن اتباعه؛ وهو زيادة قدرة الأجهزة على التكيف، فبدلًا من تشغيلها على مجموعة أحادية ثابتة من الترددات، يمكن للجهاز المحمول أن يستخدم ما يُسمى أحيانًا «اللاسلكي الإدراكي»، وهو جهاز يستخدم برمجيات؛ لتبديل وصلاته اللاسلكية بأي قناة لاسلكية يتصادف كونها مفتوحة في تلك اللحظة. وكما يقول تفضلي، فإن هذا لن يُبقي على انتقال البيانات تلقائيًّا عبر أسرع القنوات فحسب، بل سيحسِّن أيضًا من مرونة الشبكة بإيجاد سبل للالتفاف حول نقاط الفشل. ويضيف قائلًا إنّ تحسين الأداء باستبدال البرمجيات أسهل كثيرًا من فعل ذلك باستبدال الأجهزة.

في غضون ذلك.. نجد أحد التحديات السياسية المهمة أمام عملية الانتقال إلى الجيل الخامس يكمن في إيجاد الطيف اللاسلكي الذي يتيح نطاقًا ترددياً وتغطية كافيَيْن. وبالفعل، خصصت الاتفاقات الدولية كل الترددات تقريبًا التي يمكن الوصول إليها لاستخدام معين، مثل البث التلفزيوني، أو الملاحة البحرية، أو حتى علم الفلك اللاسلكي. لذا.. سيتعين تأجيل التغييرات النهائية، حتى ينعقد المؤتمر العالمي للاتصالات اللاسلكية في عام 2019، بيد أن لجنة الاتصالات الفيدرالية الأمريكية «FCC» تحاول تَصَدُّر الساحة من خلال طرح ترددات أقل من 1 جيجا هيرتز في مزاد؛ لبيعها لشركات الاتصالات. يقول تفضلي إن هذه الترددات المنخفضة ـ التي كانت محجوزة ذات يوم للبث التلفزيوني، لكونها أفضل من الترددات الأعلى في اختراق الجدران والعوائق الأخرى، لكنْ لم تَعُد هناك حاجة إليها بعد تحول التلفزيون إلى البث الرقمي ـ تتمتع بجاذبية خاصة لخدمة المناطق ذات الكثافة السكانية المتدنية؛ إذ لن يتطلب الأمر إلا بعض المحطات القاعدية القليلة؛ لتوفير خدمة واسعة النطاق للأسر هناك، وتوفير بيانات القيادة للسيارات ذاتية التحكم، التي تسير على الطرق.

> **«تهدِّد الاختناقات المرورية الرقمية بوَقْف مسار ثورة تكنولوجيا المعلومات».**

ويمكن فتح النطاقات الأخرى الواقعة في المدى الترددي 1-6 جيجا هيرتز لاستخدام الجيل الخامس، بينما يُلغى الجيلان الثاني والثالث بشكل تدريجي، لكن أقصى الآمال بالنسبة إلى المناطق الحضرية الكثيفة سكانيًّا هو استغلال الترددات الأعلى من 6 جيجا هيرتز، المستخدمة بِقِلَّة الآن، بسبب مداها القصير جدًّا. وسيتطلب ذلك إقامة محطات قاعدية تعمل بتقنية الجيل الخامس، بمسافة تصل إلى 200 متر بين كل واحدة وأخرى في المناطق الحضرية الكثيفة سكانيًّا، أي خُمْس المسافات الفاصلة المستخدَمة لشبكات الجيل الرابع في المناطق الحضرية. وتَعتبِر لجنة الاتصالات الفيدرالية الفكرة واعدة بشكل كاف، لدرجة أنها أقرَّت رسميًّا في يوم 14 من شهر يوليو فتح هذه الترددات للخدمات عالية السرعة سريعة الاستجابة. وتدرس هيئة «أوفكوم» Ofcom التنظيمية البريطانية اتخاذ خطوات مماثلة.

تبدي الشركات اهتمامًا خاصًّا بتلك الترددات الأعلى، كوسيلة لمَدّ تكنولوجيا الجيل الخامس إلى استخدامات أخرى. ففي الولايات المتحدة، اختبرت شركة الاتصالات اللاسلكية «فيريزون» Verizon واتحاد مكون من مصنعين للمعدات - يضم شركات «إريكسون»، و«سيسكو»، و«إنتل»

NATURE.COM
للاستماع إلى نشرة صوتية عن تحدِّي النطاق الترددي، قم بزيارة:
go.nature.com/2axbk00

وانتظام عبر شبكة الإنترنت.

و«نوكيا»، و«سامسونج» - البث بتردد 28 جيجا هيرتز في مواقع في نيوجيرسي، وماساتشوستس، وتكساس. يَستخدِم هذا النظام تكنولوجيا الجيل الخامس؛ لإيصال البيانات بسرعة جيجا بت واحدة في الثانية، كما تعمل «فيريزون» على تكييفه للاستخدام في الوصلات اللاسلكية الثابتة إلى المنازل؛ وهو ما تخطط لاختباره في العام المقبل. وقد ظلت الشركة تروِّج للوصلات اللاسلكية الثابتة كبديل للوصلات السلكية، لأن تكاليف التوصيل أقل بكثير.

ممرّات أكبر

"عندما أُخْرِج هاتفي المحمول، يراه الجميع كجهاز اتصال لاسلكي"، كما يقول نيل بيرجانو، مسؤول التكنولوجيا في شركة TE SubCom لصنع الكابلات البحرية، التي تتخذ من إيتون تاون بولاية نيوجيرسي مقرًّا لها. ويضيف بيرجانو: "يمكن للمستخدمين التنقل من مكان إلى آخر، لكن الشبكة لا تتنقل". وعندما يستخدم شخص ما الهاتف، يتم تحويل إشارته اللاسلكية في أقرب محطة قاعدية إلى إشارة ضوئية، تنتقل بعد ذلك إلى وجهتها عبر ألياف ضوئية ثابتة.

تمثل قنوات البيانات الزجاجية المرنة تلك العمود الفقري لشبكة الاتصالات العالمية منذ أكثر من ربع قرن. لا شيء يمكن أن يضاهي نطاقها الترددي؛ إذ تستطيع اليوم وحدة واحدة من الألياف الرفيعة كالشعرة إرسال 10 تيرا بت (ما يعادل تريليون بت) في الثانية، عبر المحيط الأطلسي. وتساوي هذه السرعة 25 قرص بلو راي مزدوج الطبقة في الثانية، وتبلغ سعتها 30 ألف مرة سعة أول كابل ألياف عابر للأطلسي، مُدّ في عام 1988. جاءت غالبية تلك الزيادة عندما تعلَّم المهندسون كيفية إرسال 100 إشارة منفصلة عبر وحدة ألياف واحدة، كل منها له طول موجي مستقل. ومع مواصلة الحركة المرورية ازديادها في المسارات المستخدمة بكثرة، مثل المسار من نيويورك إلى لندن، يجد هذا النهج نفسه في مواجهة بعض القيود الصعبة.. فالتشوُّه والضوضاء اللذان يتراكمان حتمًا لدى مرور الضوء على امتداد آلاف الكيلومترات من الزجاج جعلا من المستحيل عمليًّا إرسال أكثر من 100 جيجا بت في الثانية على طول موجي أحادي.

وللتغلب على ذلك.. طوَّر المصنِّعون نوعًا جديدًا من الألياف. ففي حين ترسل الألياف الاعتيادية الضوء خلال نواة من الزجاج فائق النقاء، يبلغ سمكها 9 ميكرومترات، وتمتد في المنتصف، ينشر التصميم الجديد الضوء على منطقة مركزية أكبر، بكثافة أقل؛ مما يحدّ من الضوضاء. أما العيب الذي يظهر في المقابل، فهو أن الألياف الجديدة أكثر حساسية للانثناء والمَطّ؛ ما قد يتسبب في ظهور أخطاء. لكنها تعمل بشكل جيد جدًّا في الكابلات البحرية؛ إذ توفر أعماق البحر بيئة مستقرة وآمنة، لا تضغط بشدة على الألياف.

في العام الماضي، أرسلت شركة أنظمة الشبكات «إنفينيرا» Infinera ـ التي تتخذ من صنيفال بكاليفورنيا مقرًّا لها ـ إشارات أحادية الطول الموجي بسرعة 150 جيجا بت في الثانية، عبر ألياف واسعة المساحة، تمتد على مسافة 7,400 كيلومتر، أي أكثر من ثلاثة أضعاف المسافة الممكنة باستخدام الألياف الاعتيادية، وبسهولة كافية لعبور الأطلسي. وأرسلت الشركة أيضًا إشارات بسرعة 200 جيجا بت في الثانية عبر مسافة أقصر.

إن الكابل البحري التجاري الأعلى سعة الموجود الآن في الخدمة هو نظام FASTER، الذي تبلغ سرعته 60 تيرا بت في الثانية، وقد افتُتح في شهر يونيو الماضي بين أوريجون واليابان. وهو يرسل إشارات بسرعة 100 جيجا بت في الثانية على 100 طول موجي في كل زوج من الأزواج الستة من الألياف واسعة النواة، لكن في أواخر شهر مايو الماضي، أعلنت شركتا «مايكروسوفت»، و«فيسبوك» بشكل مشترك عن خطط للتفوق على هذا الكابل بكابل MAREA الليفي واسع المساحة، الذي يغطي المسافة البالغة 6,600 كيلومتر، الممتدة بين ولاية فرجينيا وإسبانيا. وعند الانتهاء من هذا الكابل في شهر أكتوبر عام 2017، فإنه سوف يربط مراكز البيانات التابعة للشركتيْن على الجانبين المتقابلين من الأطلسي بسرعة 160 تيرا بت في الثانية.

وقد قامت مجموعة عمل في جامعة كاليفورنيا في سان دييجو العام الماضي بعرض نهج آخر؛ لتقليص الضوضاء التي تحدّ من الأداء.. فعادةً تستخدم أنظمة الألياف الضوئية أشعة ليزر منفصلة لكل طول موجي، لكن التفاوت العشوائي الضئيل يمكنه أن يولِّد بعض الضوضاء. ولذا قامت المجموعة بدلًا من ذلك باستخدام تقنية تُعرف باسم «تمشيط الترددات»؛ لتوليد سلسلة من الأطوال الموجية المتباعدة بمسافات مماثلة، من شعاع ليزر أحادي (E. Temprana *et al*. *Science* **348**, 1445–1448; 2015). يقول المهندس الكهربائي نيكولا أليك ـ وهو عضو في الفريق ـ إن "التقنية عملت بصورة ممتازة لخفض الضجيج. ومع مزيد من التطوير، يمكن لهذا النهج أن يضاعف معدل البيانات التي تنقلها أنظمة الألياف الضوئية".

زمن الرحلة

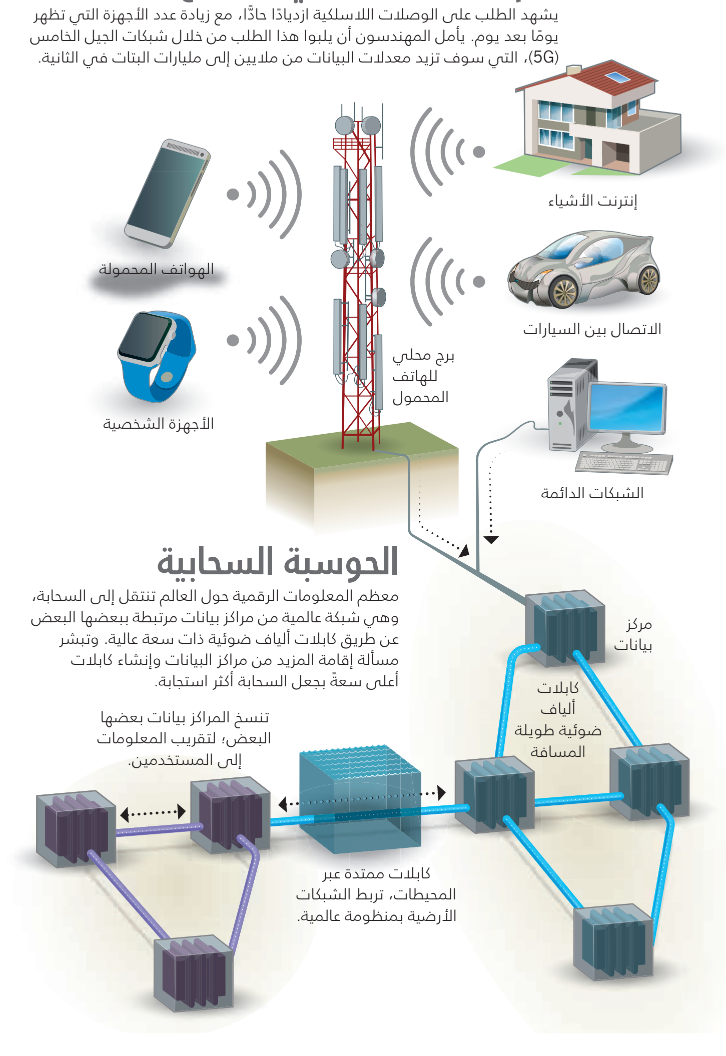
إن النطاق الترددي الضخم شيء مفيد، لكن السرعة مهمة أيضًا، فالأحاديث التي يجريها البشر شديدة الحساسية للمقاطعات، لدرجة أن التأخير بمقدار ربع الثانية يمكنه تعطيل محادثة هاتفية، أو محادثة فيديو. كما يتطلب الفيديو معدل إطارات ثابتًا، وبالتالي يتعطل البث عندما تنفد قائمة انتظار الإدخال. وللتغلب على مثل هذه المشكلات، تسمح قواعد لجنة الاتصالات الفيدرالية بأكواد خاصة تعطي أولوية المرور

هندسة الاختناقات

بُنيت شبكة الإنترنت على نظام هاتفي يبلغ من العمر قرنًا من الزمن. ولذا.. تظهر به نقاط اختناق كثيرة يجب القضاء عليها؛ للحفاظ على تدفق البتات.

قم بتحويل كل شيء ليصبح جَوّالًا

يشهد الطلب على الوصلات اللاسلكية ازديادًا حادًّا، مع زيادة عدد الأجهزة التي تظهر يومًا بعد يوم. يأمل المهندسون أن يلبوا هذا الطلب من خلال شبكات الجيل الخامس (5G)، التي سوف تزيد معدلات البيانات من ملايين إلى مليارات البتات في الثانية.



لحِزَم البيانات التي تحمل مكالمات صوتية، أو إطارات فيديو، بحيث تتدفق بسرعة وانتظام عبر شبكة الإنترنت.

إن الخدمات الجديدة والصاعدة، بما فيها الروبوتات التي يتم التحكم فيها عن بُعد، والجراحة عن بُعد، والحوسبة السحابية، والألعاب التفاعلية، هي أيضًا حساسة تجاه مدى استجابة الشبكة. وإلى حد كبير يَعتمِد الزمن الذي تستغرقه إشارة بعينها لتقطع رحلة الذهاب والعودة بين طرفين ـ ما يُطلق عليه عادةً «زمن الوصول» ـ على المسافة، ما يشكل جغرافية شبكة الإنترنت. ورغم أن البيانات تنتقل خلال كابل الألياف الضوئية بسرعة 200 ألف كيلومتر في الثانية، أي ما يعادل ثلثي سرعة الضوء في الجو، فإن ضغطة شخص على مفتاح في لندن ستحتاج 86 ملي ثانية لتولِّد استجابة من مركز بيانات في سان فرانسيسكو، الواقع على بُعْد 8,600 كيلومتر؛ وذلك تأخير قد يجعل الحوسبة السحابية بطيئةً جدًّا.

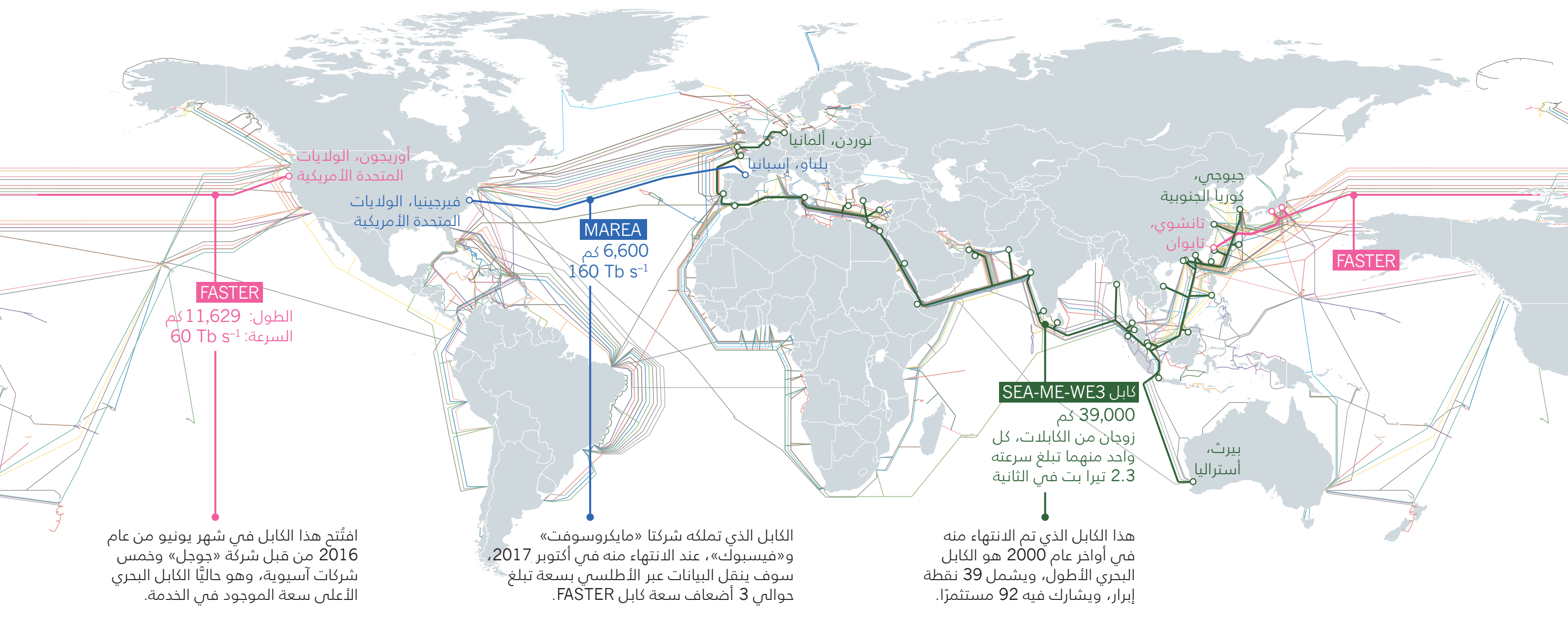
تتطلب تطبيقات الهواتف المحمولة الصاعدة الآن نطاقًا ترددیًّا واسعًا مع زمن وصول قصير. فالسيارات ذاتية التحكم مثلًا تحتاج إلى بيانات آنية حول البيئة المحيطة؛ لتحذيرها من الأخطار، بدءًا من الحُفَر الموجودة في الطريق، حتى وقوع حوادث في الطريق أمامها. كما أن السيارات التقليدية تتحول الآن إلى مراكز أعصاب لاسلكية، حيث تحتاج إلى زمن وصول قصير لأنظمة تحكُّم صوتي لاسلكية.

وثمة تَحَدٍّ هائل محتمل، يتمثل في ظهور أنظمة الواقع الافتراضي ثلاثية الأبعاد. تتطلب الألعاب التفاعلية ثلاثية الأبعاد انتقال البيانات بسرعة 1 جيجا بت في الثانية، أي 20 ضعف سرعة تشغيل فيديو نمطي من قرص بلو راي، لكن الأهم من ذلك أنه يلزم إعادة كتابة الصورة على الأقل 90 مرة في الثانية؛ للحاق بسرعة إدارة المستخدِمين رؤوسهم لمشاهدة

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

الشبكة البحرية

معظم الحركة المرورية لشبكة الإنترنت حول العالم يحدث تحت سطح المحيط، من خلال كابلات من الألياف الضوئية التي يمكن مدها عند قاع البحر لمسافة آلاف الكيلومترات. ويومًا بعد يوم تمد الشركات كابلات أكثر، وأفضل أداءً.



الحدث، على حد قول ديفيد ويتينجل، عالِم الحاسوب بجامعة بوردو في ويست لافاييت بولاية إنديانا. فلو تأخر بث البيانات، يصاب المستخدِم بدوار الحركة. وللحيلولة دون حدوث ذلك، قام ويتينجل بمد خط ليفي خاص، تبلغ سرعته 10 جيجا بت في الثانية إلى مختبر الواقع الافتراضي الخاص به.

ولتسريع الاستجابات، تقوم شركات الإنترنت الكبرى ـ مثل جوجل، ومايكروسوفت، وفيسبوك، وأمازون ـ بتخزين نسخ مكررة من بياناتها في مزارع خوادم متعددة حول العالم، وتقوم بتوجيه الاستفسارات إلى أقربها. يقول جيف بينيت، مدير الحلول والتكنولوجيا بشركة «إنفينيرا»، إن نسخة الفيديو المخزَّنة مؤقتًا في أحد مراكز البيانات المحلية تسمح للمشاهدين بالتقدم في الفيديو بشكل سريع، كما لو كان هذا الملف مخزَّنًا على جهاز منزلي، لكن تكاثر مراكز البيانات تلك هو أيضًا واحد من أكبر محركات الطلب على النطاق الترددي، كما يقول؛ إذ إن الجهود التي يبذلها المورِّدون لمزامنة مراكز البيانات الخاصة حول العالم تستهلك الآن نطاقًا ترددياً أكبر من حركة المرور العامة على الإنترنت. ولذلك يجري الآن تسريع إنشاء الكابل الخاص بشركتي «مايكروسوفت»، و«فيسبوك»، (انظر: «الشبكة البحرية»).

وحتى الآن، يوجد معظم مراكز البيانات حيث يوجد العملاء والكابلات، أي في أمريكا الشمالية، وفي أوروبا وشرق آسيا. يقول كرايفيلت: "أجزاء كثيرة من العالم ما زالت تعتمد على طرق الوصول عن بُعْد إلى المحتوى غير المخزَّن محليًّا". ويضيف قائلًا إن أمريكا الجنوبية بها قليل من مراكز البيانات، وبالتالي فإن قدرًا كبيرًا من المحتوى يأتي من ميامي في فلوريدا، المتصلتين بشكل جيد؛ إذ قد يتم توجيه حركة المرور بين شيلي والبرازيل عبر ميامي؛ لخفض التكاليف، لكن على حساب زمن الوصول. المشكلة ذاتها موجودة في الشرق الأوسط، حيث يجب نَقْل 85% من الحركة المرورية الدولية إلى مراكز في أوروبا، بيد أن كرايفيلت يقول إن الأمر يتغير الآن، لكن التقدم فيه بطيء بعض الشيء. ومن جانبها، دَشَّنت خدمات أمازون ويب Amazon Web Services مركز البيانات السحابية الأول لها في الهند في العام الماضي في مومباي، وقد كان لديها مركز آخر مماثل في مدينة ساو باولو في البرازيل منذ عام 2011.

الاتصالات الداخلية

إن النطاق الترددي عالي الأهمية كذلك على أصغر المستويات، أي في شرائح خوادم مراكز البيانات، وبين الشرائح وبعضها. وبإمكان توسيع نطاق التدفق هنا أن يساعد المعلومات في التحرك في مراكز البيانات، والوصول إلى المستخدمين بشكل أسرع. وقد استقرت سرعات الساعة الخاصة بالشرائح ـ أي مدى سرعة عملها ـ عند عدد قليل من الجيجا هيرتز منذ سنوات عدة؛ وذلك بسبب مشكلات السخونة، بيد أن الطريقة الأكثر عمليةً لتسريع المعالجات بشكل كبير تكمن في تقسيم العمليات التي تؤديها بين «أنوية» متعددة، وتلك معالجات دقيقة منفصلة تعمل بالتوازي في الشريحة ذاتها. يتطلب ذلك وصلات عالية السرعة داخل الشريحة. وإحدى طرق إنشاء هذه الوصلات تعتمد على استخدام الضوء، الذي يمكنه نقل البيانات بشكل أسرع مما يمكن للإلكترونات فعله.

وتتمثل العقبة الأكبر في دمج عناصر ضوئية ميكروية الحجم مع إلكترونيات من السيليكون، لكن بعد سنوات من البحوث حول «فوتونيات السيليكون»، لم يجد المهندسون حتى الآن طريقة لتوليد الضوء من السيليكون بكفاءة. وهي خطوة أساسية في المعالجة الضوئية للمعلومات. ويمكن ربط أفضل مصادر الضوء شبه الموصِّلة ـ مثل فوسفيد الإنديوم ـ بشرائح السيليكون، لكن من الصعب جدًّا أن تنمو مباشرة على السيليكون؛ لاختلاف المسافات بين ذراتها. وقد تم دمج العناصر الضوئية والإلكترونية في فوسفيد الإنديوم، لكنْ على نطاق صغير فقط حتى الآن.

وفي محاولة لتوسيع نطاق الدمج الفوتوني حتى يصل إلى المستوى التجاري، دشنت الولايات المتحدة في العام الماضي المعهد الأمريكي لتصنيع الفوتونيات المتكاملة في مدينة روتشستر بولاية نيويورك، المدعوم بمبلغ 110 ملايين دولار من هيئات فيدرالية، و502 مليون دولار من الشركات العاملة في هذا المجال، ومصادر أخرى. يهدف المعهد إلى تطوير تقنية كفء لصنع فوتونات متكاملة للتطبيقات عالية السرعة، بما في ذلك تقنيات الاتصال بالألياف الضوئية والحوسبة.

> «يمكن للمستخدِمين التنقل من مكان إلى آخر، لكنّ الشبكة لا تتنقل».

على صعيد منفصل، أجرى فريق مموَّل من كندا في وقت سابق من هذا العام بيانًا عمليًّا لدائرة متكاملة فوتونية، تحتوي على 21 مكونًا فعالًا يمكن برمجتها لأداء ثلاث دالات منطقية مختلفة (W. Liu *et al*. *Nature Photon*. 10, 190–195; 2016). وكانت تلك خطوة مهمة بالنسبة إلى المعالجات الدقيقة الفوتونية، إذ تماثل في تعقيدها أولى الشرائح الإلكترونية القابلة للبرمجة، التي تفتح الباب أمام أجهزة الكمبيوتر المصغرة. يقول جيانبنج ياو، المشارك في تأليف الدراسة، وهو مهندس كهربائي في جامعة أوتاوا في كندا: "مقارنة بالإلكترونيات الموجودة حاليًّا، فالأمر بسيط، لكنْ مقارنة بالدوائر المتكاملة الفوتونية، فالأمر معقد جدًّا".

وبمزيد من التطوير، قد تظهر تطبيقات متنوعة. فعلى سبيل المثال، يقول ياو إنه بعد تحسين الشريحة، ورفع مستوى عملها إلى المستوى الأمثل للتصنيع، يمكنها عندئذ تحويل إشارة هاتف جوال من الجيل الخامس، استقبلتها محطة قاعدية، إلى إشارة ضوئية تماثلية، يمكن إرسالها بعد ذلك بالألياف الضوئية إلى منشأة مركزية، ثم ترقيمها.

إن السعي وراء شرائح أسرع يُعَدّ تحديًا صعبًا، شأنه شأن الجوانب الأخرى من مشكلات الإنترنت، لكن الباحثين ـ من أمثال بيرجانو ـ يرون إمكانية كبيرة لتحقيق تحسينات؛ فبعد 35 سنة من العمل على الألياف الضوئية، يقول: "ما زلتُ متفائلًا جدًّا حيال المستقبل". ■

جيف هيكت كاتب مستقل، مقيم في أوبرنديل، ماساتشوستس.

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

محيط من البلاستيك

يدرك العلماء أن ثمة كمية هائلة من البلاستيك في المحيطات، ولكنهم لا يعرفون جميع أماكن وجودها، ولا كيف تبدو، ولا الأضرار التي تُسَبِّبها.

دانْيِل كريسي



شاطئ كاميلو، الذي يمتد على طرف جزيرة هاواي الكبرى، هو شاطئ استوائي بعيد، يمتاز برماله البيضاء، وأمواجه القوية، ولا يمكن الوصول إليه عن طريق البر. إنه ـ في الواقع ـ يتميز بالكثير من الصفات التي تجعل منه الشاطئ الاستوائي المثالي، ولكنْ ثمة أمر واحد لا يمكن التغاضي عنه.. إنه مغطًّى عادةً بسجادة من المخلفات البلاستيكية.

زجاجات بلاستيكية، وشِبَاك صيد، وحبال، وأحذية، وفُرَش أسنان من بين أطنان النفايات التي تجرفها الأمواج إلى هنا، وذلك بفضل مزيج من التيارات المحيطية والدوامات المحلية. وقد أفادت دراسة أُجريت في عام 2011 أن طبقة الرمل السطحية قد تحتوي على ما يصل إلى 30% من وزنها[1] من المواد البلاستيكية. وقد أصبح ذلك الشاطئ يُعرف بأنه أقذر شاطئ في العالم، ويُعَدّ دليلًا واضحًا ومروعًا على مقدار المخلفات البلاستيكية التي يلقيها البشر في محيطات العالم.

في كل بيئة بحرية درسها العلماء، من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي، ومن السطح إلى الرواسب، وجدوا مخلفات بلاستيكية. المخلفات الأخرى التي يتسبب فيها البشر تتعفن، أو تتحلل؛ فتتلاشى، ولكن البلاستيك يمكن أن يستمر لسنوات، مما يتسبب في قتل الكائنات البحرية، وتلويث البيئة، وإفساد السواحل. ووفقًا لبعض التقديرات، يشكل البلاستيك 50 إلى 80% من المخلفات الموجودة في المحيطات. وتقول كارا لافندر لو، عالمة المحيطات في جمعية التوعية البحرية في وودز هول بولاية ماساتشوستس: "ثمة أماكن لا تجد فيها مخلفات بلاستيكية، لكنْ من حيث المسطحات البحرية المختلفة؛ وجدنا بلاستيك في جميعها. إننا نعلم جيدًا أنه منتشر بشدة".

تنقل الصحف الكثير من الأخبار عن "رقعة قمامة المحيط الهادئ العظمى"، وهي منطقة في وسط المحيط الهادئ، تتراكم فيها جسيمات البلاستيك، حيث يقوم متطوعون بالمشارَكة في عمليات تنظيف الشواطئ في جميع أنحاء العالم. ويتخلّف البحث العلمي عن تَحَرِّي القلق الشعبي إلى حد كبير؛ فلا يزال العلماء يجاهدون للإجابة على الأسئلة الأساسية، من قبيل: ما هي كمية البلاستيك الموجودة في المحيطات، وأين توجد، وما أشكالها، وما الأضرار التي تسبِّبها. ويرجع هذا إلى حقيقة أن البحث العلمي في البحار والمحيطات أمر صعب، وباهظ التكلفة، ويستغرق الكثير من الوقت. فمِن الصعب إجراء مسح شامل للمحيطات الشاسعة، بحثًا عن الأجزاء البلاستيكية الصغيرة ـ التي تكون دقيقة الحجم في بعض الأحيان ـ وقلة من الباحثين فقط هم مَن جعلوا من هذه المهمة عملهم الأساسي.

وقد بدأ الاهتمام يزداد في الوقت الراهن. يقول ماركوس إريكسن، مدير البحوث والمؤسس المشارك لمعهد «فايف جايرز» في سانتا مونيكا بكاليفورنيا، الذي يعمل على مكافحة التلوث بالبلاستيك: "لقد نُشرت في السنوات الأربع الأخيرة أبحاث ودراسات أكثر من كل ما نُشر في العقود الأربعة السابقة". ويدرك العلماء ودعاة حماية البيئة أن هناك الكثير مما يجب عمله. وفي مايو الماضي، أصدر برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) قرارًا في الاجتماع الذي عُقِد في نيروبي، ينص على أن "وجود النفايات البلاستيكية والجسيمات البلاستيكية الدقيقة في البيئة البحرية مسألة خطيرة، تتزايد بخطى سريعة، وتحظى باهتمام عالمي، وتحتاج إلى استجابة عالمية عاجلة".

مِن أين تأتي المخلفات البلاستيكية؟

في عام 2014، رفع فريق من الحديقة البحرية التي تحمل اسم «النصب التذكاري القومي

البحري الأمريكي» Papahānaumokuākea ـ التي تقع قبالة الساحل الشمالي الغربي لهاواي ـ شبكة صيد من المسطح المائي، وزنها 11 طنًّا ونصف طن، أي ما يعادل وزن إحدى حافلات لندن تقريبًا. ويُعتقد أن الشِّبَاك وغيرها من معدات الصيد التي فُقدت أو أُلقيت في البحر تشكل جزءًا كبيرًا من المخلفات البلاستيكية في البحار. ويشير أحد تقديرات[2] برنامج الأمم المتحدة للبيئة إلى أن معدات الصيد "المفقودة" هذه تشكِّل 10% من مجموع النفايات البحرية، أو حوالي 640 ألف طن. وهناك ما هو أكثر من ذلك بكثير؛ فالإنتاج العالمي من البلاستيك يزداد كل عام، ويصل الآن إلى حوالي 300 مليون طن، وهناك جزء كبير منه ينتهي به الحال في المحيطات. فالنفايات البلاستيكية تُترك على الشواطئ، وتطير الأكياس البلاستيكية إلى البحر، ويمكن للكميات الهائلة من البلاستيك التي تُلْقى في أماكن دفن النفايات أن تنجرف، أو تحركها الرياح بسهولة، إذا لم يتم التعامل مع هذه المواقع وإدارتها بصورة مناسبة. وثمة مصادر أخرى أقل وضوحًا، مثل الإطارات المهترئة، حيث إنها تترك شذرات صغيرة على الطرق، ثم تنتقل إلى المصارف، ومنها إلى المحيطات.

في بحث أُجري عام 2014، قام إريكسن وفريقه البحثي بتحليل بيانات عن الأصناف التي عُثِر عليها في سلسلة من الحملات في مختلف محيطات العالم، وقدّروا أنه، وفقًا للوزن، فإن 87% من قِطَع البلاستيك العائمة حجمها أكبر من 4.75 ملم[3]. وشملت القائمة عوامات، وشرائط، وشِبَاكًا، ودلاءً، وزجاجات، وأكياسًا (انظر: «بحر من البلاستيك»)، ولكن عندما أُحصيت القطع عددًا؛ شَكَّلت القطع البلاستيكية الكبيرة 7% فقط من إجمالي النفايات. يتفتت الكثير من المواد البلاستيكية بفعل أشعة الشمس الحادة، وهجمات الأمواج، حتى تصل في نهاية المطاف إلى أحجام دقيقة، وهناك مواد بلاستيكية أخرى تكون صغيرة الحجم أصلًا، مثل «الميكروبيدات»، التي تضاف إلى منتجات فَرْك الوجه «سكراب»، وغيرها من مستحضرات التجميل، التي تنتقل إلى المصارف بدورها.

تَزَايَد القلق حول الجسيمات البلاستيكية الدقيقة هذه منذ عام 2004، عندما قام ريتشارد تومبسون ـ الذي يُجْرِي أبحاثًا عن النفايات البلاستيكية في المحيطات في جامعة بليموث في المملكة المتحدة ـ بصياغة هذا المصطلح، (وكثيرًا ما يُستخدم الآن للإشارة إلى القِطَع التي يقل قطرها عن 5 ملِّيمترات). وقد وجد فريقه جسيمات بلاستيكية دقيقة في معظم العينات المأخوذة من 18 شاطئًا من الشواطئ البريطانية، وكذلك في عينات العوالق التي جُمعت من بحر الشمال من تاريخ يعود إلى ستينات القرن العشرين[4]. ومنذ ذلك الحين، ارتفع عدد الأبحاث التي تستخدم هذا المصطلح ارتفاعًا ملحوظًا، ويحاول الباحثون الإجابة على أسئلة تتراوح بين مدى سُمِّيَّة هذه المواد، إلى كيفية توزيعها في جميع أنحاء العالم.

كم تبلغ كميتها؟

إذا كان مسح المحيطات بحثًا عن البلاستيك مكلفًا وصعبًا على السطح، فإنه أكثر صعوبة في الأعماق؛ حيث يفتقر الباحثون إلى عيِّنات من مناطق كثيرة جدًّا من أعماق البحار، لم تُسْبَر أغوارها على الإطلاق. وحتى إذا ما تمكنوا من مسح كل هذه المناطق، فالتركيز سيكون خفيفًا إلى درجة تستدعي اختبار كميات ضخمة من المياه؛ للحصول على نتائج موثوقة. ومن ثم، فإنهم مضطرون ـ بدلًا من ذلك ـ للاعتماد على التقديرات والاستقراء.

وفي بحث نُشر في العام الماضي، قام فريق بحثي تقوده جِنا جامبيك ـ التي تُجْرِي أبحاثًا في إدارة النفايات في جامعة جورجيا في أثينا ـ بتقدير كمية النفايات التي تصدر عن البلدان والأقاليم الساحلية، وكمية البلاستيك التي قد تشملها، وينتهي بها المطاف في المحيط[5]. وتوصل الفريق إلى رقم يتراوح بين 4.8 مليون، و12.7 مليون طن سنويًّا، وهو ما يعادل تقريبًا 500 مليار زجاجة مشروبات بلاستيكية. ولم تتضمن تلك التقديرات البلاستيك الذي يُفقد، أو الذي يتم التخلص منه في البحر، وجميع كميات البلاستيك الموجودة بالفعل هناك.

ولفَهْم هذا الأمر، اتجه بعض الباحثين للصيد بالشِّباك، واستخدموا شِبَاكًا دقيقة؛ ليروا ما الذي يمكنهم اصطياده من البلاستيك. وفي العام الماضي، نشر عالِم المحيطات إريك فان سيبيل ـ من إمبريال كوليدج لندن ـ وزملاؤه واحدة من أكبر مجموعات البيانات من هذا النوع[6]. وقد جمعوا معلومات مستمدة من 11.854 شبكة صيد، من كل المحيطات، باستثناء القطب الشمالي؛ لإنتاج "قائمة عالمية" بقِطَع البلاستيك الصغيرة العائمة على السطح، أو بالقرب منه. وقد قَدَّروا في عام 2014 أن هناك ما بين 15 ـ 51 تريليون قطعة من الجسيمات البلاستيكية الدقيقة عائمة في المحيطات، ويتراوح وزنها الإجمالي من 93 ـ 236 ألف طن. وهذه الأرقام تضع العلماء أمام مشكلة، فهذا التقدير لإجمالي البلاستيك الموجود على السطح ليس إلا جزءًا صغيرًا من الكمية التي قَدَّرت جامبيك أنها تصل إلى المحيطات كل عام، فأين الكمية المتبقية؟ تجيب جامبيك: "هذا هو السؤال الكبير، وهو سؤال شديد الصعوبة".

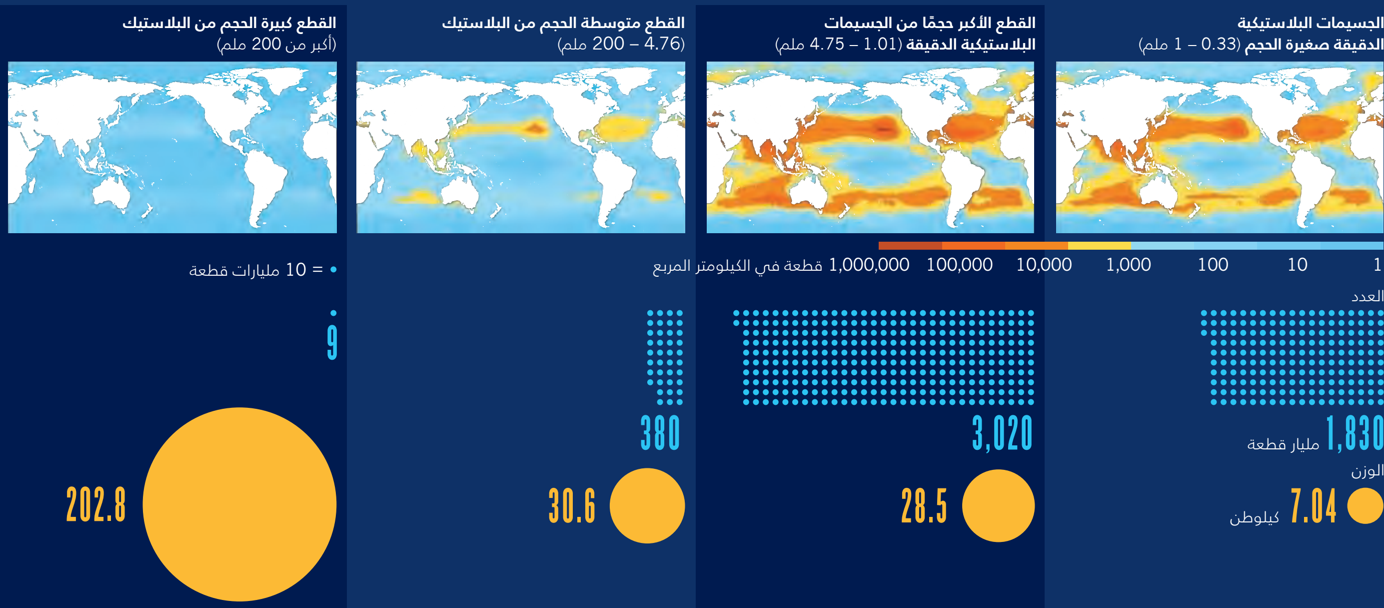
يحاول الباحثون التوصل إلى إجابات لهذا السؤال، فتعمل جامبيك الآن بمساعدة تطبيق على الهاتف المحمول، يُدعى Marine Debris Tracker، أو «متتبع المخلفات البحرية»، الذي يوفر وسيلة لتجميع كميات هائلة من البيانات؛ حيث يرسل مستخدمو التطبيق معلومات عن النفايات التي يجدونها في طريقهم. كما أنها تعمل أيضًا على مشروع لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة؛ لبناء قاعدة بيانات عالمية لمشروعات المخلفات البحرية.

أين توجد هذه المخلفات؟

أدَّى عدم تطابق تقديرات كميات البلاستيك التي تصل إلى المحيطات، والكمية التي تم رصدها بالفعل إلى ظهور ما يُعرف باسم مشكلة "البلاستيك المفقود". ويضاف إلى ذلك اللغز أن البيانات الواردة من بعض المواقع لا تظهر فيها زيادة ملموسة في تركيز البلاستيك خلال السنوات الأخيرة، على الرغم من أن الإنتاج العالمي منه في ارتفاع متواصل.

انْصَبّ الاهتمام العام على رقعة قمامة المحيط الهادئ العظمى، حيث يتجمع البلاستيك بفضل تيار محيطي يُدعى "الدوامة المحيطية"، غير أن الاسم "رقعة قمامة المحيط الهادئ العظمى" ـ في حد ذاته ـ اسم مغلوط إلى حد ما؛ فمَنْ يذهب إلى هناك لن يجد أكوامًا من القمامة البحرية. وقد أشارت دراسة أجريت عام 2001 إلى وجود 334.271 قطعة من البلاستيك في الكيلومتر المربع الواحد في تلك الدوامة[7]، وهذه أكبر حصيلة سُجلت في المحيط الهادئ، ولكنها لا تزال تعني وجود عدد صغير في كل ثلاثة أمتار مربعة.

وتشير النمذجة التي وضعها فان سيبيل وزملاؤه إلى أن التركيزات قد تكون أعلى بعدة



تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

درجات أُسِّيَّة في رقعة قمامة المحيط الهادئ العظمى، والمنطقة المماثلة لها في شمال المحيط الأطلنطي، مقارنة بالأماكن الأخرى، ولكن البلاستيك الموجود هنا تم احتسابه خلال عمليات المسح المختلفة، بينما كميات البلاستيك المفقودة هي بطبيعة الحال مفقودة، ولذلك فهي في مكان آخر.

بعض هذه الكميات المفقودة يرقد على الأرجح في قيعان المحيطات. وثمة أنواع معينة من البلاستيك تغوص إلى القاع، وحتى تلك التي تبدأ طافية يمكن أن تغطيها كائنات بحرية، وتغوص إلى الأسفل في نهاية المطاف. وقد أظهر عمل تومبسون أن هناك جسيمات بلاستيكية دقيقة في الرواسب في أعماق المحيطات؛ وهي منطقة لم تحظ بدراسة كافية، ويمكن أن تخفي بعضًا من ملايين الأطنان المفقودة[8]. كما تعثر العربات الآلية التي تدار عن بُعْد بانتظام على أجسام بلاستيكية كبيرة الحجم بين القمامة الغارقة في أعمق الخنادق المحيطية.

وقد ينتهي المقام بجزء كبير من بلاستيك المحيطات على الشواطئ، كما يُكَشَف اللثام باستمرار عن بعض قطع البلاستيك الأخرى "الغارقة". وفي عام 2014، شارك تومبسون في تأليف ورقة بحثية تشير إلى أن الجسيمات البلاستيكية الدقيقة قد تراكمت في جليد المحيط القطبي الشمالي بتركيزات أعلى بعدة درجات أُسِّيَّة من تلك الموجودة حتى في المياه السطحية شديدة التلوث[9]. وتقول لافندر لو: "لدينا الكثير من التخمينات التي تستند إلى معلومات ودراسات" حول أماكن وجود البلاستيك المفقود، "لكن في رأيي، ليس لدينا إجابة محددة على هذا السؤال".

أخذ تومبسون وغيره الآن الدراسة في هذا الشأن إلى أبعد من الجسيمات البلاستيكية الدقيقة، وهي جسيمات البلاستيك النانوية، أي تلك التي يقل حجمها عن 100 نانومتر. يقول تومبسون: "يَجري حاليًّا تصنيع جسيمات البلاستيك نانوية الحجم، ولذا.. فعلى الأرجح أن بعضها يتسرب إلى البيئة. هذا بالإضافة إلى تفتت القِطَع الأكبر"، بيد أن جسيمات البلاستيك النانوية أثبتت صعوبة دراستها؛ فوفقًا لما يقوله تومبسون، يَستخدِم الباحثون عادةً نوعًا من التحليل الطيفي؛ للتأكد من أن الأجزاء التي حصلوا عليها من المحيطات مصنوعة من البلاستيك، ولكن هذه الطريقة ليست فعالة مع القطع الأصغر من 10 ميكرومترات تقريبًا. ويأمل تومبسون في معرفة المزيد في إطار المشروع الذي تموِّله حكومة المملكة المتحدة، والذي يطلق عليه «ريل ريسك نانو» RealRiskNano، والذي سيدرس مصادر هذه الأجزاء متناهية الصغر، ومساراتها إلى البيئة. ويعلِّق تومبسون قائلًا: "لن يدهشني التأكد من وجودها فعلًا، ولكن في الوقت الراهن يصعب اكتشافها من العينات البيئية".

ما هي أضرارها؟

يدرك الباحثون أن المخلفات البلاستيكية في البحار والمحيطات يمكنها إلحاق الأذى بالحيوانات البحرية. فقد أَسَرَت معدات الصيد المفقودة وقتلت مئات الكائنات الحيوانية، من السلاحف إلى عجول البحر، وحتى الطيور. كما تبتلع كائنات بحرية عديدة قِطَعًا من البلاستيك، قد تراكم في جهازها الهضمي. ووفقًا لأحد الأرقام، التي كثيرًا ما يُستشهد بها، فإن حوالي90% من طيور الفُلمار البحرية النافقة التي تلقيها الأمواج على شواطئ بحر الشمال كانت أمعاؤها تحتوي على البلاستيك، ولكن ما لا نعرفه يقينًا هو ما إذا كان هذا التلوث ذا تأثيرات كبيرة على جماعات الكائنات البحرية، أم لا.

وقد أثبتت الأبحاث المعملية سُمِّيَّة الجسيمات البلاستيكية الدقيقة، غير أن هذه الأبحاث غالبًا ما تَستخدِم تركيزات أعلى بكثير من تلك الموجودة في المحيطات، ولكن في شهر فبراير من هذا العام، نشر أرنو هوفيت ـ الذي يدرس اللافقاريات في الوكالة الوطنية الفرنسية للأبحاث البحرية (IFREMER) في بلوزان ـ عملًا قام فيه بتعريض محار المحيط الهادئ للجسيمات البلاستيكية الدقيقة بتركيزات مماثلة لتلك الموجودة في الترسبات التي تعيش فيها هذه الكائنات. ووجد أن الحيوانات التي تعيش في المياه التي بها تركيزات بلاستيك أنتجت بويضات وحيوانات منوية أقل جودة، كما أنتجت يرقات أقل بنسبة 41% مقارنةً بتلك الموجودة في مجموعة التحكم المستخدمة في التجربة[10]. وكانت تلك واحدة من أولى الدراسات التي تثبت وجود صلة مباشرة بين البلاستيك ومشكلات الخصوبة. ويعلِّق فان سيبيل قائلًا: "لقد تَرَكَتْ هذه الدراسة أثرًا كبيرًا".

وكذلك فعلت دراسة أجراها في شهر يونيو كل من أونا لونشتيد، وبيتر إيكلوف، المختصَّيْن في دراسة علم بيئة السَّمَك، التي قاما فيها بتعريض يرقات سَمَك الفرخ إلى تركيزات "مناسبة بيئيًّا" من الجسيمات البلاستيكية الدقيقة. وقد أكلت اليرقاتُ البلاستيك، بل وبدا أنها تفضِّله حتى عن الطعام الحقيقي، مما جعلها تنمو ببطء أكبر، وتفشل في الاستجابة لرائحة الحيوانات المفترسة. وبعد 24 ساعة من وَضْعها في حوض مع أحد الحيوانات المفترسة التي تتغذى عليها، لم تتمكن سوى 34% من اليرقات التي تغذَّت على البلاستيك من النجاة، مقارنةً بنسبة 46% من تلك التي عاشت في المياه النظيفة[11].

كانت لونشتيد ـ من جامعة أوبسالا في السويد ـ قد أبدت انزعاجها من صور اليرقات الشفافة التي تظهر فيها بوضوح الكريات البلاستيكية الصغيرة في أحشائها، قائلة: "إنه لأمر فظيع. إنني متعاطفة بقوة مع هذه القضية، ويتعين على أولئك الذين يقولون إن البلاستيك لن يشكل ضررًا في المحيطات إلقاء نظرة على الأدلة مرة أخرى".

يشكِّك بعض العلماء في نتائج ودلالات هذه الدراسة، حيث يقول أليستر جرانت ـ عالِم البيئة في جامعة إيست أنجليا في نورويتش بالمملكة المتحدة ـ إن معدلات البلاستيك التي أحدثت تلك التأثيرات الضارة في بحث لونشتيد ـ وهي من 10-80 جسيمًا لكل لتر ـ لا تزال أعلى بعدة درجات أُسِّيَّة من الغالبية العظمى من القياسات الميدانية. ويوضح أن معظم التقارير تشير إلى أقل من جسيم واحد في اللتر، مضيفًا: "تشير الأدلة التي أراها حاليًّا إلى أن الجسيمات البلاستيكية الدقيقة لا تزال ـ على الأرجح ـ في نطاق الحدود البيئية الآمنة في معظم الأماكن".

ماذا الذي يجب أن نفعله؟

على الرغم من عدم توفر بيانات شاملة حول المخلفات البلاستيكية في المحيطات، فثمة إجماع واسع النطاق بين الباحثين على أنه يتعين على البشر ألا ينتظروا مزيدًا من الأدلة، قبل الإقدام على أي إجراء. ومن ثم، يصبح السؤال هو: كيف؟

ومن بين المشروعات المثيرة للجدل في هذا الصدد؛ المشروع الذي ابتكرته مؤسسة «تنظيف المحيطات» The Ocean Cleanup، وهي مجموعة غير ربحية، تأمل في أن تتمكن بحلول عام 2020 من نشر حاجز عائم بطول 100 كيلومتر في رقعة قمامة المحيط الهادئ العظمى، وتزعم أن الحاجز سيزيل نصف البلاستيك السطحي هناك.

«يتعيَّن علينا إيقاف هذا التلوث في محطات المعالجة، وفي مدافن النفايات. هذه هي المرحلة التي يجب أن نتدخل فيها».

قُوبِل هذا المشروع بتشكيك من جانب الباحثين؛ حيث يقولون إن البلاستيك في الدوامة المحيطية متحلِّل لدرجة تجعل استخراجه صعبًا، ويخشون أنْ يسبِّب الحاجز إزعاجًا لحياة السمك والعوالق. رَحَّب بويان سلات ـ الرئيس التنفيذي لمؤسسة «تنظيف المحيطات» ـ بذلك النقد، لكنه يقول إن مشروع الحاجز لا يزال في مرحلة مبكرة، وثمة نموذج أوَّلي يتم تثبيته حاليًّا قبالة الساحل الهولندي. ويضيف: "إننا نستخدم هذا الاختبار ليكون بمثابة منصة للتحقق من إمكانية حدوث أي عواقب سلبية. والسبيل الوحيد لمعرفة ذلك هو التجربة الفعلية".

في بحث نُشر في وقت سابق من هذا العام[12]، أثبت فان سيبيل وزميله بيتر شيرمان أن وضع معدات التنظيف بالقرب من سواحل الصين وإندونيسيا سيكون أكثر فعالية، حيث إنّ قسمًا كبيرًا من التلوث بالبلاستيك ينشأ هناك. يقول فان سيبيل: "كلما كان التدخل بالقرب من حلقة اقتصاد البلاستيك؛ كان ذلك أفضل. ويتعيَّن علينا إيقاف هذ التلوث في محطات المعالجة، وفي مدافن النفايات. هذه هي المرحلة التي يجب أن نتدخل فيها". ويُشَبِّه إريكسن الوضع بمعالجة تلوث الهواء، حيث أدرك الناس منذ وقت طويل أن تنقية الهواء لا تشكِّل حلًّا طويل المدى، وبالمِثْل تبدو تنقية المحيطات أمرًا غير واقعي، ويضيف: "ما ثبت في جميع أنحاء العالم هو ضرورة التوجه نحو المصدر". وهذا يعني الحدّ من استخدام البلاستيك، وتحسين إدارة النفايات، وإعادة تدوير المواد؛ للحيلولة دون وصولها إلى المياه من الأساس.

قد يبدو أن هذا المطلب مبالَغ فيه، نظرًا إلى مدى انتشار البلاستيك؛ ولكن بعض العلماء يسمحون لأنفسهم بتصوُّر عالَم يوضع فيه البلاستيك تحت السيطرة. ووفقًا لبحث أجرته لافندر لو، بالتعاون مع يان فان فرانيكر، فإن أنواعًا عائمة من البلاستيك قد تختفي خلال بضع سنوات13. وحينئذٍ، ربما يتمكن شاطئ كاميلو من العودة إلى سابق عهده، نظيفًا من الملوثات، لكن البلاستيك سيكون قد ترك بصمته في صورة طبقات من الجسيمات متناهية الصغر، مطمورة في رواسب قيعان المحيطات. وبمرور الوقت، سيصبح هذا البلاستيك راسخًا في الأرض، كإرْث يذكِّرنا بعصر البلاستيك. ويقول إريكسن: "ستكون هناك طبقة صخرية محيطة بالأرض، تتكون من البلاستيك". ■

دانْيِل كريسي مراسل صحفي أول لدورية *Nature* في لندن.

1. Carson, H. S., Colbert, S. L., Kaylor, M. J. & McDermid, K. J. *Mar. Pollut. Bull.* **62,** 1708–1713 (2011).
2. Macfadyen, G., Huntington, T. & Cappell, R. *Abandoned, Lost or Otherwise Discarded Fishing Gear* (UNEP, 2009).
3. Eriksen, M. *et al. PLoS ONE* **9,** e111913 (2014).
4. Thompson, R. C. *et al. Science* **304,** 838 (2004).
5. Jambeck, J. R. *et al. Science* **347,** 768–771 (2015).
6. van Sebille, E. *et al. Environ. Res. Lett.* **10,** 124006 (2015).
7. Moore, C. J., Moore, S. L., Leecaster, M. K. & Weisberg, S. B. *Mar. Pollut. Bull.* **42,** 1297–1300 (2001).
8. Woodall, L. C. *et al. R. Soc. Open Sci.* **1,** 140317 (2014).
9. Obbard, R. W., Sadri, S., Wong, Y. Q., Khitun, A. A., Baker, I. & Thompson, R. C. *Earth's Future* **2,** 315–320 (2014).
10. Sussarellu, R. *et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA* **113,** 2430–2435 (2016).
11. Lönnstedt, O. M. & Eklöv, P. *Science* **352,** 1213–1216 (2016).
12. Sherman, P. & van Sebille, E. *Environ. Res. Lett.* **11,** 041001 (2016).
13. van Franeker, J. A. & Law, K. L. *Environ. Pollut.* **203,** 89–96 (2015).

تعليقات



KEVIN FRAYER/GETTY

مُزارِع يرش مبيدًا حشريًّا على شجرة تفاح في منطقة هانيوان بالصين.

نحو نهج جديد لاختبار المخاطر الكيميائية

جون سي. وورنر، و**جينيفر كيه. لودويج** يقترحان ثلاث طرق، من شأنها أن تساعد المخترعين على إنتاج مواد ومنتجات كيميائية أكثر أمنًا.

في ظل توفر معلومات جديدة حول الآثار الصحية والبيئية للمواد الكيميائية، تخضع لوائح السلامة حول العالم الآن للمراجعة والتنقيح. ففي شهر يونيو الماضي، وقَّع الرئيس الأمريكي باراك أوباما أول مشروع قانون لتعديل قانون مراقبة المواد السامة منذ صدوره قبل 30 عامًا. يَفْرِض القانون المعدَّل قدرًا أكبر من الشفافية، كما يحث على ضرورة اضطلاع وكالة حماية البيئة الأمريكية «EPA» بتقييم المواد الكيميائية الموجودة حاليًّا في الوقت المحدد. وتطرأ تعديلات في الوقت الحالي على تشريعات وقوانين عمليات تسجيل، وتقييم، وترخيص، وتقييد المواد الكيميائية ـ تُسمى اختصارًا «REACH» ـ الصادرة عن الاتحاد الأوروبي، وغيرها من القوانين المماثلة.

إنّ تحسين الأنظمة واللوائح أمر ضروري؛ لحماية الناس والبيئة من المواد الضارة، بيد أنه لا يقدِّم ◄

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

الكثيرَ للمخترعين الذين تقع على عاتقهم مهمة شاقة؛ ألا وهي إنتاج مواد كيميائية ومنتجات أكثر أمنًا[1]. وفي النظام الحالي، يتم تجميع المعلومات الخاصة بالسلامة بعد اختراع المواد الكيميائية، أو - في كثير من الحالات - بعد إدخالها في المنتجات وتوزيعها. أما التفاعلات الجزيئية للمواد الكيميائية داخل المنتجات، فعادةً لا يتم وضعها في الاعتبار، مما يعني أن قوائم المكونات ـ باعتبارها مصادر للمعلومات المتعلقة بسلامة المنتج ـ قد تكون مضلِّلة. وهذه العوامل تجعل من المستحيل تقريبًا للمخترع أن يتجنب إنتاج مادة كيميائية غير آمنة، أو منتَج غير آمن.

إن عمليات تقييم سلامة المنتجات والمواد الكيميائية وإعلام الجمهور بها تحتاج إلى كثير من التغيير. لذا، نطرح هنا ثلاثة أساليب لبدء نقاش بين العلماء، وممثلي قطاع الأعمال، وصناع القرار، حول صحتنا العامة والبيئية المستقبلية.

ثلاثة طرق للمضي قدمًا

توحيد اختبارات السلامة الكيميائية. غالبًا ما يُثار الجدل حول السلامة الكيميائية حين تقوم المنظمات المختلفة ـ ومن بينها الشركات، ومراكز البحوث، والهيئات الحكومية ـ باختبار المركّب نفسه بأساليب مختلفة؛ قد يشير أحدها إلى خطورته، بينما يشير آخر إلى سلامته. فعلى سبيل المثال، في عام 2015 صَنَّفَت الوكالة الدولية لبحوث السرطان مبيد الأعشاب «جلايفوسيت» glyphosate ـ المستخدَم على نطاق واسع ـ على أنه «مسرطن بشري محتمَل»[2]؛ في حين خلصت وكالات تنظيمية أخرى ـ منها الهيئة الأوروبية لسلامة الغذاء ـ إلى أنه "من غير المرجح أن يسبب السرطان". ويكمن التناقض هنا في اختلاف الدراسات التي أُجريت لإثبات الأمر، مما يجعل المجتمع العام أكثر حيرة عن أيّ وقت مضى فيما يتعلق بمدى سلامة مبيد الجلايفوسيت.

تقلِّل الاختبارات القياسية من استخدام المواد الكيميائية البديلة، التي تضاهي في مشكلاتها المادة الأصلية، أو ربما تكون أسوأ منها. فعلى سبيل المثال.. يتسم بعض النظائر البنيوية لثنائي الفينول أ (BPA) ـ المستخدَم في مجموعة متنوعة من المنتجات البلاستيكية ـ بدرجة من السُّمِّيَّة، والتأثيرات الهرمونية المماثلة لمركّب ثنائي الفينول أ[3] ذاته. وبالمثل، غالبًا ما تُستخدم مركّبات الكربون الفلورية الهيدروجينية، ومركبات الكربون الهيدروكلورية الفلورية كبدائل لمركّبات الكربون الكلورية الفلورية (CFCs)، وهي مواد كيميائية مستنفِدة للأوزون، كانت تُستخدم على نطاق واسع كمبرِّدات، وكمواد دافعة في البخاخات. ولا تزال البدائل تضر بطبقة الأوزون، وإنْ لم يكن الضرر بقَدْر ضرر مركّبات CFC[4].

وإضافة إلى ذلك، سيتسنَّى للمخترعين توفير الوقت والمال، من خلال المعرفة المسبقة بالاختبارات التي يجب أن تُجرى؛ مما يسهِّل ترشيد الاستثمارات الكبيرة اللازمة لصنع مادة ما.

إنّ صياغة مجموعة من اختبارات السلامة القياسية المحلية أو الدولية تحتاج إلى إسهامات وتسويات من جانب المؤسسات الصناعية والأكاديمية والحكومية، مثل مجلس الكيمياء الأمريكي، ومجموعة العمل البيئية، ووكالة حماية البيئة، بحيث ستقوم كلها بالتصديق على بعض الاختبارات، مثل تلك المتعلقة بالخصائص الفيزيائية الكيميائية، بينما قد يصعب الاتفاق على اختبارات أخرى، أو لا يتم التأكد منها، مثل تلك المتعلقة بالمواد المؤثِّرة على الغدد الصماء، وهي بمثابة جزيئات تحاكي الهرمونات[5]. ويجب تحديد الفجوات الموجودة في المعلومات، مثل منهجيات اختبار المراحل المختلفة من المواد، ووضع آلية لمراجعة وتعديل قائمة الاختبارات بشكل دوري، بناء على العمليات المتاحة لتقييم الجزيئات الفردية المستخدمة من قِبَل وكالة حماية البيئة، وقوانين عمليات تسجيل المواد الكيميائية، وتقييمها، وترخيصها، وتقييدها، وكذلك الشركات والهيئات الحكومية.

اختبار المنتجات النهائية. لا تمثل المكونات التي تدخل في عملية التصنيع بالضرورة التركيب الكيميائي للمنتَج النهائي، إذ تختفي جزيئات؛ وتتفاعل أخرى؛ لتكوِّن مركّبات جديدة عندما تتعرض لمواد مختلفة، أو لتغيرات في درجة الحرارة والضغط. ويمثل اختبار المنتَج النهائي طريقة أفضل لفَهْم مدى تأثير المنتَج على صحة الإنسان، وعلى البيئة. فعلى سبيل المثال، كشفت إحدى الدراسات التي قامت بفحص عيِّنة من علبة «بيتزا»[6] العديد من المركّبات غير المعروفة، التي أثارت بالتالي بعض التساؤلات حول محتويات المنتجات اليومية، وسلامتها.

يمكن تصنيف المنتَج بمقياس من 1 إلى 10 (حيث يشير الرقم 1 إلى أن المنتَج غير ضار، بينما يشير الرقم 10 إلى أن المنتَج شديد السُّمِّيَّة)، وذلك على أساس أداء المنتَج في سلسلة من الاختبارات القياسية في فئات مختلفة. وبذلك.. يتم إعلام المستهلكين بمدى سلامة المنتَج، ولا يحتاج المورِّدون إلى الكشف عن أسرار التجارة. وإذا كان أداء أحد المنتجات في اختبار واحد أو أكثر غير مقبول، يمكن للمصنع عندئذ مراجعة سلسلة التوريد، وتحديد المواد المسبِّبة للمشكلات، وإجراء تعديلات عليها.

> **«التفاعلات الجزيئية للمواد الكيميائية داخل المنتجات لا يتم وَضْعها في الاعتبار عادةً».**

إعلان نتائج الاختبارات للعامة. يجب الكشف عن النتائج الكَمِّيَّة للاختبارات الكيميائية، واختبارات المنتجات، وعرضها بطريقة غير منحازة. ويجب على المنظمات المعنية ـ بما في ذلك الوكالات الحكومية، والمنظمات غير الحكومية، والاتحادات التجارية ـ وضع سياسات وطرق محددة لتفسير البيانات، فعلى سبيل المثال، يمكن أن يحمل المنتَج رقمًا تصنيفيًّا يشير إلى احتمال تَسَبُّبه في السرطان، واحتوائه على انبعاثات، وإحداث خلل في الغدد الصماء، فإذا قدمت جميع المنتجات في فئة تجارية معينة تلك المعلومات، يمكن للمستهلك حينها اتخاذ قرارات مستنيرة، من خلال مقارنة الأرقام التصنيفية. وينبغي على المستهلكين أو المنظمات غير الحكومية إعداد مبادئ توجيهية بشأن الأرقام التي ينبغي للفرد البحث عنها.

ومن المهم التأكد من إدراك المستهلكين لحقيقة أنه لا يوجد منتَج بلا مخاطر. ويجب على المصنِّعين الذين يحصل منتَجهم على رقم تصنيفي "غير مقبول" أن يوضِّحوا للجمهور ما يبرر تعرُّض البشر والبيئة للمادة المعنية، من وجهة نظرهم. كما يمكن للوكالات الحكومية وغيرها من المجموعات حظْر منتجات أو فئات بأكملها من المنتجات ذات الأرقام التصنيفية السيئة.

سبيل التقدم

تتمثل الخطوة الأولى نحو تحسين السلامة الكيميائية في وضع قائمة بالنقاط المأمول الانتهاء عندها، وهي المعلومات التي نود معرفتها عن منتَج ما، مثل السُّمِّيَّة الكبدية، أو استنزافه للأوزون، أو احتمال تَسَبُّبه في السرطان. ولا ينبغي وضع الكثير من الأهداف التي يستحيل تحقيقها، ولا وضع أهداف قليلة جدًّا لا مغزى لها.

أمّا الخطوة الثانية، فتتمثل في تحديد اختبارات معينة لكل نقطة انتهاء. وحين لا يمكن التوصل إلى إجماع في الآراء، يجب عندئذ وضع آلية محددة للتوصل إلى اتفاق.

ثالثًا، يجب وضع بروتوكولات معينة توضِّح كيفية تحضير العيِّنات، وطرق التحليل. ويتمثل الهدف الرئيس في وضع معايير يمكن الاستعانة بها في إجراء عمليات التدقيق والمراجعة للمختبرات التي تُجْرِي الفحوص. وينبغي توقُّع الحالات المختلفة للمادة والأنواع المختلفة من المنتجات.

وفي النهاية، يجب أن يلتقي العلماء بشكل منتظم؛ لتقييم الحالة الراهنة لأحدث ما تم التوصل إليه، واتخاذ القرارات على أساس المعلومات الجديدة التي ربما تشكِّك في الاختبارات الحالية، أو تقدِّم تحسينات عليها. فعلى سبيل المثال، يصادف هذا العام الذكرى السنوية العشرين لأول مؤتمر من مؤتمرات جوردون للكيمياء الخضراء «Green Chemistry Gordon»؛ فمثل هذه الاجتماعات من شأنها أن تمثل منتديات جيدة لمناقشة النجاح التجاري، والتحديات العالقة في مجال الكيمياء المستدامة.

لا شك أن إصلاح الأنظمة الكيميائية مهمة شاقة، لكننا بحاجة إلى وسيلة أفضل لحماية صحة الإنسان والبيئة التي نعيش فيها. ■

جون سي. وورنر رئيس وكبير مسؤولي التكنولوجيا، و**جينيفر كيه. لودويج** كاتب تقني علمي في معهد وورنر بابكوك للكيمياء الخضراء في ولمنجتون، ماساتشوستش، الولايات الأمريكية المتحدة.

البريد الإلكتروني: john.warner@warnerbabcock.com

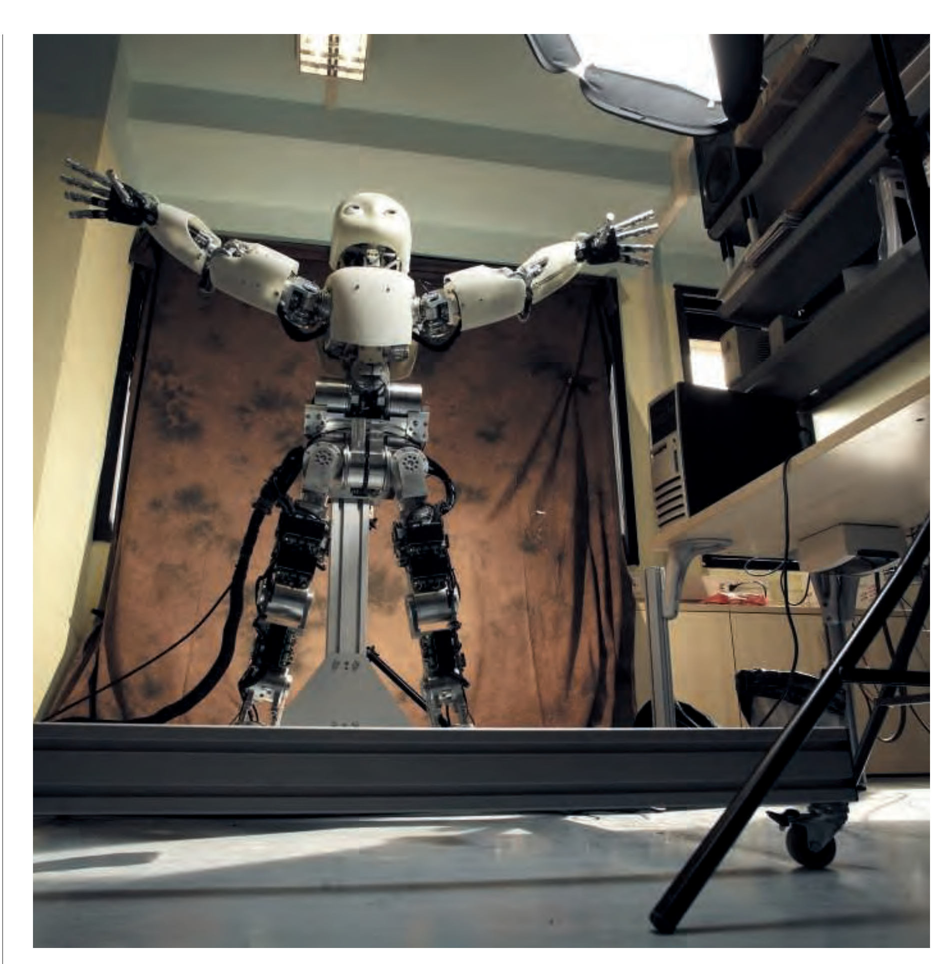
jennifer.ludwig@warnerbabcock.com

1. Anastas, P. T. & Warner, J. C. *Green Chemistry: Theory and Practice* (Oxford Univ. Press, 1998).
2. Guyton, K. Z. *et al. Lancet Oncol.* **16,** 490–491 (2015).
3. Rochester, J. R. & Bolden, A. L. *Environ. Health Perspect.* **123,** 643–650 (2015).
4. UNEP. *HFCs: A Critical Link in Protecting Climate and the Ozone Layer* 36 (UNEP, 2011).
5. Schug, T. T. *et al. Green Chem.* **15,** 181–198 (2013).
6. Bengtström, L. *et al. Food Addit. Contam. Part A* **33,** 1080–1093 (2016).

تصحيح

ذكر مقال «أوقفوا خصخصة بيانات الصحة» ـ المنشور بقسم (التعليقات) في عدد سبتمبر الماضي (J. T. Wilbanks & E. J. Topol (*Nature* **535**, 345–348; 2016 ـ خطأً أن جهاز «إنلايت» Enlite يرسل الإنسولين في مجرى دم المريض، فور رصده انخفاضًا في مستويات الجلوكوز؛ بيد أنه ـ في الحقيقة ـ يوقف إحدى المضخات التي تضخ الإنسولين. كما أن آخِر مبلغ قامت بجمعه شركة «23andMe» كان يبلغ 115 مليون دولار أمريكي، وليس 150 مليونًا.

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية



UNIVERSAL IMA/REX/SHUTTERSTOCK

يُستخدم الروبوت iCub ذو المواصفات البشرية في الأبحاث المتعلقة بمجال الإدراك والذكاء الاصطناعي.

الأخلاق

ترويـض التكنولوجيـا

يقيِّم **ستيفن أفترجود** دراسة لقياس الفجوة ما بين الرقابة، وخطى الابتكار المتسارعة.

تسارع خطى الابتكار التكنولوجي بصورة هائلة في مجالات متعددة، بدءًا من الهندسة الوراثية، حتى حروب الإنترنت، بيد أن المناقشات الأخلاقية بشأن دلالاتها لا تزال متأخرة، ولا تواكب مسيرة هذا التطور. هذا ما تناقشه شيلا جاسانوف ـ المهتمة بدراسة همزة الوصل بين العلم، والقانون، والسياسة ـ في كتابها البحثي الجديد «أخلاقيات الاختراع» *The Ethics of Invention*. تقول جاسانوف إنّ الأمر لا يقتصر فقط على كون المؤسسات الاستشارية غير مناسبة للقيام بمهمة الإشراف، بل يمتد أيضًا ليشمل فشلنا في التعرف على الأبعاد الأخلاقية الكاملة للسياسات التكنولوجية. وهي تقترح بدء الأمر من جديد، ولكن باتباع نهج جديد.

وتقول جاسانوف إن الأخلاقيات في الابتكار لم تحظ باهتمام مناسب، وهو ما يرجع ـ جزئيًّا ـ إلى الحتمية التكنولوجية، وهو اعتقاد شبه مدرِك أنّ الابتكار في جوهره أمر مفيد، وأنه لا بد من دفع حدود التكنولوجيا لأبعد قدر ممكن. وقد تَعَزَّز هذا الرأي بحقيقة أن هناك تطورات تكنولوجية عديدة أسفرت عن ربح مادي على المدى القصير، حتى وإنْ ثبت أنها تسبِّب مشكلات، أو أنها مدمِّرة على المدى البعيد، مثل مركّبات الكلوروفلوروكربون، التي تسهم في تآكل طبقة الأوزون، وكانت تُستخدَم في أجهزة التبريد، وثبت تأثيرها المدمِّر على المدى البعيد.

هناك بعض الأمور الاحتمالية التي لا يمكن توقُّعها، نظرًا إلى أنها تعتمد على عوامل أخرى؛ فهناك العديد من الهيئات الاستشارية الأخلاقية الحكومية والمهنية الموجودة بالفعل، التي تدرس الأبحاث التي تُجرى على البشر، والأبحاث في مجالات محددة من الابتكار، إلا أن هذه الهيئات لها تَوَجُّه تكنوقراطي يركِّز على تحليل التكلفة والفائدة، مع تفسير هذا التوجه تفسيرًا ضيق الأفق، والتركيز على العوامل التي يمكن قياسها كميًّا، أو تعيين القيمة السوقية لها، أمّا الأمور غير الملموسة، مثل معنويات العمال، أو صحة المجتمعات، فغالبًا ما يتم تجاهلها. وفي الوقت نفسه، كشفت الكوارث التكنولوجية ـ مثل واقعة تسرُّب النفط في خليج المكسيك في عام 2010؛ نتيجة انفجار منصة «ديب ووتر هورايزون» ـ عن وجود عيوب في تصوُّر، أو تصميم، أو تنفيذ التكنولوجيا؛ على الأقل عقب وقوع الكوارث. ونظرًا إلى أن مثل هذه الإخفاقات غير مقصودة بطبيعة الحال، فعادةً ما يعمل المخططون والمنظمون على استثنائها من الدراسة الأخلاقية المتعمقة.

أخلاقيات الاختراع: التكنولوجيا، ومستقبَل الإنسان
شيلا جاسانوف
دبليو. دبليو. نورتون: 2016

وتوضح جاسانوف في كتابها أن ما نخفق غالبًا في فَهْمه هو أن التكنولوجيا تكون متأثرة بالكامل بالآراء والتقديرات الشخصية التي نضفيها عليها من وجهة نظرنا. فبدءًا من حدس مبتكِر تلك التكنولوجيا، الذي ينبئه بالحاجة إلى تحقيق غاية محددة، إلى تطوير الوسائل العملية لتحقيق تلك الغاية ـ وكذلك تطبيقها، وتوزيعها، وملكيّتها، وتأثيرها النهائي على المجتمع والعالَم ككل ـ فإن الخيارات المتعلقة بالتكنولوجيا متشابكة بصورة شديدة التعقيد مع الأحكام الشخصية التقديرية في كل مرحلة من مراحلها.

وتنادي جاسانوف بتأسيس هيئة جديدة تمامًا للخطاب الأخلاقي، يتخطى دورها تقييم المخاطر التقنية إلى إيلاء المنظور الاقتصادي والثقافي والاجتماعي والديني الأهمية اللازمة. ويُعَدّ هذا الكتاب تدبرًا عميقًا متأنيًا لهذه المشكلات، حيث تناقش جاسانوف ـ بِتَمَعُّن ـ نقاط قصور تحليل المخاطر التقليدية مع تحيُّزه لصالح الابتكار والقياس الكمي، وتدرس التحديات التي تفرضها تطورات محددة في مجالات التكنولوجيا الحيوية، والهندسة الوراثية، وتكنولوجيا المعلومات في طريق الإشراف والرقابة. ويساعد الكتاب على تحديد الأنماط المتكررة في النقاشات التكنولوجية المعاصرة، وتحديد الجوانب المعرَّضة للخطر في نتائجها.

ومِن الصعوبة بمكان صياغة حل لأزمة "العجز الديمقراطي المترسخ" في السياسات التكنولوجية الحالية. والأصعب من ذلك أيضًا هو تنفيذ هذا الحل، كما أن جاسانوف لا تقدِّم خريطة طريق واضحة. وقد تؤدي محاولة اتخاذ كافة وجهات النظر الأخلاقية ذات الصلة بعين الاعتبار إلى طريق مسدود، حيث إنه ـ كما تشير جاسانوف ـ "لا يزال الكثير من القضايا الأساسية المتعلقة بالصواب والخطأ قيد نزاع شديد". وتتضمن هذه القضايا أسئلة من قبيل: متى بدأت الحياة، ومتى تنتهي؟ وما الذي يشكِّل كرامة الإنسان؟ وكيف يمكن تحديد نطاق مسؤولية الإنسان عن البيئة العالمية والأجيال القادمة؟ وفي بعض الأحيان، تسفر المناقشات الأخلاقية المكثفة ليس عن اتفاق في الآراء، وإنما عن عكس ذلك. فعلى سبيل المثال، عقب سنوات من دراسة ومناقشة الكارثة الصناعية التي وقعت في بوبال في الهند في عام 1984، عندما تسربت غازات سامة من مصنع لمبيدات حشرية، تابع لشركة «يونيون كاربايد»؛ مما أسفر عن مقتل الآلاف، ما زالت النقاشات "تقاوِم بشدة أي سرد للأسباب والنتائج يكون مترابطًا

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

منطقيًّا"، بسبب نزاعات سياسية وقانونية وقضائية معقدة. وفي أحيان أخرى، يمكن أن تسفر المشاورات عن تَوَافُق متعدد التوجُّه، ومتباين، مثل اعتماد سياسات مختلفة متعلقة بأبحاث الخلايا الجذعية الجنينية البشرية من قِبَل الولايات المتحدة، والمملكة المتحدة، وألمانيا.

وتناقش جاسانوف ـ بأسلوب مقنع ـ أنه حتى إذا كان الخطاب الأخلاقي المثالي بعيد المنال، فلا يزال بإمكاننا تحقيق نتائج أفضل مما توصلنا إليه. وتمتد آثار العديد من وسائل التكنولوجيا ـ في مجالات مثل إنتاج الطاقة، أو علم الروبوتات، أو إدارة المعرفة ـ إلى ما هو أبعد من مشغِّليها، أو المستفيدين منها. ولذا مِن الضروري إيجاد طريقة لطلب آراء المجموعات المتضررة، وأَخْذها بعين الاعتبار. ويزداد إدراك العلماء لهذه الحقيقة يومًا بعد يوم (J. Kuzma *Nature* **531**, 165–167; 2016). وترى جاسانوف أن الاعتماد على رأْي العاملين في مجال التكنولوجيا فقط سيكون خطأ، نظرًا إلى أن "خيال الخبراء غالبًا ما يكون مقيدًا بطبيعة خبراتهم". وقد اعتاد مكتب التقييم التكنولوجي ـ التابع للكونجرس الأمريكي، الذي أُغلق في عام 1995 ـ على تقييم مجموعة واسعة النطاق من المشكلات التكنولوجية بصورة مستقلة. وفي حين ينظر إليه النقاد بحنين وهم يتحسرون على الأمية العلمية التي تعاني منها سياسات معاصرة كثيرة، فإن جاسانوف تبدي إعجابًا محدودًا به، وتقول إنه في حالات كثيرة "فشل في خلق حيِّز من الخبرات المحايدة التي كان مؤسسوه يحلمون بها"، وبدلًا من ذلك "أصبح نغمة أعلى صوتًا وتنافرًا في سيمفونية الجدال النشاز القائمة".

«إنّ خيال الخبراء يكون مقيَّدًا غالبًا بطبيعة خبراتهم».

أمّا أكثر أجزاء الكتاب إثارةً للاهتمام، فيستعرض الآثار التحويلية للتكنولوجيا على المستوى الشخصي، أو كما تقول جاسانوف: "اختراعاتنا تغيِّر العالَم، وهذا العالَم الذي تَغَيَّر.. يغيِّرنا". إنّ التكنولوجيا تحدِّد إحساسنا بما هو ممكن، ويمكن أن تعزِّز قدراتنا الطبيعية، أو تُضْعِفها، بل ويمكنها أن تغيِّر حجم الدماغ ووظيفته (R. McKinlay *Nature* **531**, 573–575; 2016). إنّ خياراتنا التكنولوجية تمثل انعكاسًا لما نحن عليه، ونقطة انطلاق لما سنكون عليه، بل ويمكن أن تعيد التكنولوجيا الناشئة تعريفَ ما يعنيه أن تكون إنسانًا. وبناءً على العنصر الأكثر قيمة وأهمية بالنسبة لنا ـ المتمثل في السُّلْطة، أو المعرفة، أو الاستدامة، أو المشارَكة الاجتماعية، أو الراحة ـ فإن بعض التكنولوجيا سيخدم مصالحنا جيدًا، في حين أن البعض الآخر يجب استبعاده. ولا شك أن الأخلاق عنصر أساسي في عملية الاختيار.

وقد يبدو توسيع نطاق المناقشات الأخلاقية ليتناول التكنولوجيا الجديدة أنه احتمال مخيف، من شأنه أن يعوق مسيرة الابتكار، وأنه ـ بلا شك ـ سيثير أسئلة بوتيرة أسرع من وتيرة ظهور الإجابات، إلا أنّ التجربة أثبتت أن العديد من هذه الأسئلة سيكون جديرًا بالطرح. ■

ستيفن أفترجود محلِّل أبحاث أوَّل في اتحاد العلماء الأمريكيين في واشنطن العاصمة.
البريد الإلكتروني: saftergood@fas.org

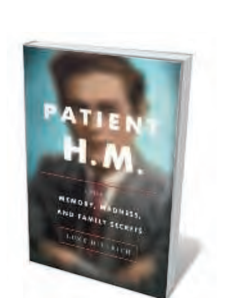
ملخصات كتب



دماغ الطير: استكشاف ذكاء الطيور

ناثان إيمري آيفي (2016)

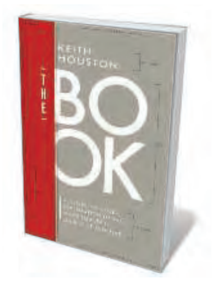
منذ التسعينات، يقف ناثان إيمري ـ المتخصص في علم الأحياء المعرفية ـ في صدارة البحوث المتعلقة بذكاء الطيور. وفي هذا الاستعراض المصور بشكل رائع للعلوم الإدراكية، وعلم سلوك الحيوان، والمناقشات الحادة حولهما، يغطي إيمري كل ما يتعلق بـ«القرد ذي الريش». يقارن أدمغة الطيور بأدمغة الثدييات؛ ليكشف أوجه التشابه الوظيفي في علوم التشريح المتفاوتة بينهما (مشبِّهًا إياها بالكعك العادي، والكعك المكوَّن من عدة طبقات، على التوالي)، ويمر في طريقه على الذاكرة المكانية، وفطرة الهجرة، واستخدام الأدوات، وغير ذلك. وإجمالًا.. يقدِّم الكتاب عرضًا بارعًا، بدءًا من رقص طائر *Tetrao tetrix* على السياج، حتى استدراج البومة من نوع *Athene cunicularia* إلى الروث.



المريض إتش. إم.: ذكريات، وجنون، وأسرار عائلية

ليوك ديتريش، مطبعة راندوم هاوس (2016)

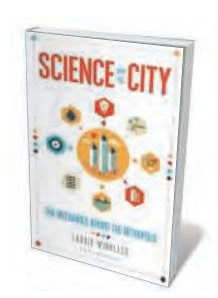
في عام 1953، أسفرت جراحة تجريبية أُجريت لهنري مولايسون عن فقدان ذاكرة حاد لديه. وقد اشتهرت قصته؛ فسُمِّي بالمريض «إتش. إم.»؛ وقامت سوزان كوركين أخصائية المخ والأعصاب بدراسة حالته لما يقرب من 50 عامًا (انظر: D. Draaisma *Nature* **497**, 313–314; 2013). يقدِّم ليوك ديتريش ـ حفيد جَرّاح المخ الذي قام بالعملية، ويليام سكوفيل ـ وجهة نظر مختلفة تمامًا. يعطي ديتريش القصة الرسمية روحًا بإضافة سِيَر ذاتية مختلفة بعض الشيء لكل من سكوفيل المضطرب، ومولايسون الذي تضرر بشدة، وأحاديث مع كوركين تكشف عن الكثير، إضافة إلى المشاحنات العلمية التي كانت تحدث خلف الكواليس. وبرغم كون هذا الكتاب مزعجًا بعض الشيء، إلا أنه يحمل في طياته توضيحات كثيرة.



الكتاب

كيث هوستن، مطبعة دبليو دبليو نورتون (2016)

هَيْمَن الكتاب الورقي على المشهد الثقافي، باعتباره الآلة الثقافية التي استخدمها الناس لمدة 1500 سنة. وقد كان هناك سرد تاريخي بارع، ممتع للغاية، عن حضارات بأكملها، قام به كيث هوستن؛ مبيِّنًا فيه تطوُّر الكتابة، والطباعة، والتغليف، والرسم. إنّ ابتكار المواد أمر مبهر، بدءًا من ورق البردي، والجِلْد الرقيق، والورق العادي (الذي يرجع تاريخه إلى القرن الثاني بعد الميلاد في الصين)، حتى الأحبار. وبِسِحْر مماثل.. يستعرض مسار تطور تقنيات الإنتاج، بينما يسلِّط بمهارته الكتابية الدقيقة الضوء على ثورة الطباعة التي أحدثها يوهانس جوتنبرج، انتهاءً بمعجزات الطباعة الحجرية الحديثة.



العلم والمدينة: ميكانيكا العاصمة

لوري وينكليس، مطبعة بلومزبيري سيجما (2016)

‹إلى أعلى›، ‹حَوِّل›، ‹رَطِّب›.. تشير عناوين الفصول تلك في كتاب عالمة الفيزياء لوري وينكليس إلى جولة ارتداد رشيق، قادمة في طيّات هذه المقدمة التي تدور حول انغماس العِلْم في المدن؛ وهو ما يظهر بالفعل في تأمُّلها لتصميم ناطحات سحاب معاكس لاتجاه الرياح، وتقنيات الإمداد بالماء، مثل «شبكات شفط الضباب»، والجسور المصنَّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد. وقد يكون العنصر الأكثر تشويقًا في الأمر هو استحضارها لكيفية بناء أنظمة المترو الحديثة، من خلال الغوص بمهارة في التلافيف الكثيفة تحت الأرضية. ربما تثير العناوين الفرعية الغليظة والمصطلحات المهمة الظاهرة بالخط العريض بعضَ الإزعاج، إلا أن «وينكليس» الذكية قد أدَّت واجبها على أكمل وجه.



سامٌّ

كريستي ويلكوكس، مطبعة فارار شتراوس آند جيرو (2016)

يغوص كريستي ويلكوكس ـ عالِم الأحياء التطورية ـ في بحوث الحيوانات السامة؛ وهي مجموعة تصنيف هجينة شاملة، بدءًا من البلاتيبوس (خلد الماء، أو الفأر الأعمى) *Ornithorhynchus anatinus*، الذي يُصْدِر سُمًّا يحتوي على 83 مادة سامة، حتى التنين كومودو من نوع *Varanus komodoensis*، الذي يحوي أحد أصنافه مادة مضادة للتخثر؛ تجعل الضحية تنزف إلى حد الجفاف. ربما يصيبنا الرعب من فكرة الموت إثر لدغة أفعى، إلا أن ويلكوكس يذكِّرنا هنا بأن السموم هي "مكتبات معقدة من الجزيئات"، قد تحمل فائدة طبية، وبذلك.. فإن الحفاظ على تنوعها الحيوي يحفظ أيضًا الثروات الكيميائية الحيوية. **باربرا كايسر**

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

علم الأحياء المجهرية

حكــم الغوغـــاء

تتناول دراسةٌ **لأدريان وولفسون** أربعة كتب عن عالَم الأحياء المجهرية الذي يتفاعل بداخلنا.

في أوائل تسعينات القرن العشرين، ألقى سيدني برينر ـ عالِم الأحياء الجزيئية ـ محاضرة في كمبريدج في المملكة المتحدة، أكد فيها على مزايا اكتشاف تتابع الجينوم البشري، سعيًا وراء وضع وَصْفٍ كامل لـ«طاقم الجينات» البشري. وبعد ذلك بعدة سنوات، وبالتحديد في عام 2001، نُشر أول تتابع جينومي بشري. وقد كان الافتراض المطروح وقتها أنه سيختزل الهيئة البشرية والوظائف والاختلالات الوظيفية البشرية في صورةٍ محدودة يمكن تتبُّعها. وبمرور الوقت، تلاشت هذه الآمال، بعد اكتشاف مستويات متتابعة من التعقيدات المعلوماتية والتنظيمية، شبيهة بالدمى الروسية التي تحوي بداخلها عدة دمى أصغر فأصغر، بدايةً من علم الوراثة غير الجينية، حتى الحمض النووي الريبي المجهري *microRNA*، وربما لا تمثل الجينات الجينومية المُشَفِّرة للبروتين سوى رأس جبل الجليد.

أتت أحدث الانتقادات لنموذج برينر للهيئة والوظيفة العضويين من اتجاهٍ غير متوقَّع، إذ يبدو أن محتويات طاقم الجينات البشري بدلًا من أن تكون مكتفيةً بذاتها، فإنها تتلقى مددًا سخيًّا من الكثير من العناصر الخارجية. ويأتي هذا المدد السخي من عالم الكائنات الدقيقة المضطرب، وبالتحديد من المُتكافِلات التي تتغذى منتجاتها على التشكيلة المتواضعة التي تقدِّمها عوائلها. ويستكشف الباحث ـ عبر أربعة كتب جديدة ـ آثار هذا البُعد المعلوماتي الإضافي، وارتباطه بجيناتنا.

يقتحم الكاتب العلمي إد يونج في كتابه الرائع «الفَرْدٌ يحتوي الجموع *I Contain Multitudes*» العالَم الغامض والمثير للميكروبات التي تعيش فينا وعلينا، ويذكِّرنا بأن عدد خلايا جسم الإنسان البالغ 30 تريليون خلية، تفوقه عددًا ـ وبسهولة ـ 39 تريليون خلية ميكروبية ـ أو أكثر ـ تتخفى داخل الجسم، وبأن الجينوم البشري يحوي 20,000 جين مُشَفِّر للبروتين، بينما يحمل ضيوفنا غير المدعوين عددًا مهولًا يصل إلى 10 ملايين جين. وقد تَوَصَّلنا إلى معرفة هذا بفضل علم الجينوم البيئي *metagenomics* ـ وهو طريقة لاكتشاف تَتابُع امتدادات حمض نووي ريبي قصيرة خاصة بالنوع، ابتكرها عالِم الفيزياء الحيوية كارل ووز في أواخر ستينات القرن العشرين ـ الذي ساعد على تحديد البنية الجينومية للمجتمعات الميكروبية في جسم الإنسان.

«رفاقنا الصغار يلعبون دور محرِّكي الدُّمَى؛ فيتحكّمون في أفكارنا، وأحاسيسنا، وتصرفاتنا».

تَمنح البكتيريا عوائلها خصائص متفردة. وتتميز تلك البكتيريا جيناتها المنظَّمة، وقدرتها على التطور السريع، بسبب معدلات التطفُّر العالية، والانتقال الجيني الأفقي، والتضاعف السريع؛ وكلها مميزات تَسنِد إلى البكتيريا دور البطولة في الكيمياء الحيوية، فضلًا عن كونها من كبار اللاعبين في عملية الأيض؛ ما يمنح الأجسام العائلة تعددية في الوظائف، تفوق بكثير ما تمنحه إياه جيناتها الخاصة. وتعتمد الأرَقات Aphids مثلًا على المتكافلات البكتيرية التي تُعرف باسم *Buchnera*؛ لإنتاج أحماض أمينية أساسية، لا توجد في عصارة اللحاء التي تتغذى عليها حشرة الأرقة. وقد أدَّت هذه العلاقات بعالِم الأحياء الأمريكي إيفان والين في عام 1927 إلى وصف «التكافلية» بأنها مُحَرِّك للإبداع الذي يتيح للبكتيريا تغيير الأنواع العائلة لها.

ورغم أن هناك علماء ـ مثل لويس باستير، رائد نظرية الجراثيم، وهوارد فلوري، مطوِّر البنسلين ـ قد زرعوا فينا الخوف من الميكروبات، إلا أن يونج يرى أنه على البشرية رعايتها؛ تقديرًا لإسهاماتها في تطوُّرنا لما نحن عليه الآن، وأن علينا النظر إلى الميكروبيوم البشري بصفته عضوًا كاملًا ذا وظائف أساسية، مثله مثل الكبد، أو الرئتين، أو الكليتين.

ومن المثير للاهتمام أن يونج يرى أن الخلايا المناعية البشرية لا تشكو من رهاب الدخلاء، وإنما هي أقرب شبهًا بحراس الغابات، من حيث تصادمها الحذر مع الميكروبات بتعديل ديناميكيات تجمُّعاتها، وبالاستجابة لتقلباتها. ولا يرجع تآكل وانهيار الشعاب المرجانية في المياه الدافئة الحامضية إلى الآثار المباشرة للاحترار العالمي فقط، وإنما أيضًا إلى اختلال العلاقات في التجمعات الميكروبية. وبالمثل، يشير يونج إلى أن هناك أمراضًا بشرية تنشأ من حدوث تغيرات في ديناميكيات التجمعات البكتيرية؛ ما يتسبب في شذوذ في الإيكولوجيا، والتعاون الميكروبي الداخلي. ومن أمثلة ذلك: السمنة، التي تبدو ـ جزئيًّا ـ نتيجةً لاختلال في توازن ميكروبات الأمعاء، حيث يحمل الأشخاص البدناء نسبة أكبر من بكتيريا من شعبة Firmicutes، ونسبة أقل من بكتيريا من جنس *Bacteroides*، مقارنةً بالنحفاء، وفقرًا نسبيًّا في بكتيريا *Akkermansia muciniphila*. وفي عام 2013، اتضح أن الميكروبات الموجودة في الفئران النحيفة بإمكانها مساعدة الفئران السمينة على فقدان الوزن (A. Everard *et al*. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **110**, 9066–9071; 2013).

الفرد يحتوي الجموع: البكتيريا التي تعيش بداخلنا ورؤية أوسع للحياة
إد يونج
إيكو: 2016.

الإنسان ككائنٍ مركب: كيف يغير الميكروبيوم مفهوم الحياة الصحية بصورة جذرية
رودني دايترت
دوتون: 2016.

مخ الغني بالطفيليات: كيف تتلاعب مخلوقات دقيقة بسلوكنا وتشكل مجتمعاتنا
كاثلين ماكوليف
هاوتن مفلين هاركورت: 2016.

العلاقة بين العقل والأمعاء: كيف تؤثر الرسائل الخفية داخل أجسادنا في مزاجنا واختياراتنا وصحتنا العامة
إيميران ماير
هاربر ويف: 2016.

تزيد بكتيريا *Lactobacillus* من غداء الأمعاء البشرية تجاه المُمْرضات.

SPL

يشرح يونج مدى تأثير العلاقة بين الخلايا والميكروبات المقيمة بينها على نمو الكائن الحي. فالحَبَّار الأبتر الهاوايي *Euprymna scolopes* لا يتخذ هيئته الناضجة، إلا في وجود البكتيريا المشعة *Vibrio fischeri* التي تستعمر العضو المضيء في الحبار. ويحتوي لبن الثدي في الإنسان على سكريات مركبة غير قابلة للهضم، وهي الغذاء المفضل لبكتيريا *Bifidobacterium longum infantis*، التي تفرز أحماضًا دهنية قصيرة السلسلة، تؤثر على نفاذ خلايا الأمعاء في الرضع.

في كتاب «الإنسان كائنٌ مركب *The Human Superorganism*»، يذهب اختصاصي التسمم المناعي رودني دايترت إلى أبعد من ذلك؛ فيؤكد أن الإنسان العاقل *Homo sapiens* هو نوع من الكائنات المركبة، يحتوي على آلاف الأنواع من الميكروبات، ويرى أن دراسة بيولوجيا الميكروبات سوف تتحدى قريبًا نظرتنا لما يعنيه أن يكون الكائن الحي إنسانًا؛ وستؤدي إلى تحديد العوامل العلاجية. يرى دايترت أن البشر "آلات تخزين للميكروبات"، مصمَّمة لتمرِّر الكائنات الدقيقة إلى الأجيال القادمة، وأن "الجينوم البشري الثاني" ـ أي الجينات التي يشفرها الميكروبيوم البشري ـ يكمن في مجتمعٍ بكتيري مزدهر، يشبِّهه دايترت في تنوُّعه بالغابات الاستوائية المطيرة. وحتى في عصر أدوات التحرير الجيني، مثل «كريسبر» CRISPR، ما زال من الصعب تعديل الجينوم البشري، إلا أن دايترت له رأيٌ وجيه، يقول إنه يمكن هندسة الجينومات الميكروبية؛ بغرض معالجة الأمراض البشرية، وإضافة وظائف جديدة للإنسان. وقد تأكدت بالفعل قدرة المواد الأيضية الميكروبية على التحكم في التعبير الجيني البشري، فمثلًا، تساعد مركبات بوتيرات الصوديوم

في التحكم في تحوُّل الهيموجلوبين المُضْغِيّ إلى هيموجلوبين جنيني.

لم تَقْنَع الكائنات الدقيقة بالتجوال في المساحات الواسعة من جسم الإنسان؛ فتوغلت أيضًا في جهازه العصبي. وتؤكد الكاتبة الصحافية كاثلين ماكوليف في كتابها الثري والمثير والمُقلق بعض الشيء «مخّك الغنيّ بالطفيليات *This Is Your Brain on Parasites*» أن رفاقنا الصغار يلعبون دور محرِّكي الدُّمَى؛ فيتحكّمون في أفكارنا، وأحاسيسنا، وتصرفاتنا. قد تختلف نظرتي الآن إلى القطط؛ لعلمي بقدرة الطفيلي *Toxoplasma gondii* الخاص بها على التحكم في السلوك البشري، والتسبب في الإصابة بأمراض عقلية، مثل الفصام. كما أن البشر الحاملين لهذا الطفيل أكثر ميلًا لخرق القوانين، وأكثر تحفظًا وتشككًا. وتلمح ماكوليف ببراعةٍ أنه يمكن استخدام الكيماويات عقلية المفعول التي تنتجها الميكروبات، بغرض تطوير عقاقير معالِجة للحالة العقلية.

وفي تركيزه على كيفية تَسَبُّب الميكروبات في حالات مرضية مزمنة، مثل الألم المستمر، ومتلازمة القولون العصبي، صَوَّر إيميران ماير ـ اختصاصي الجهاز الهضمي ـ في كتابه «العلاقة بين العقل والأمعاء *The Mind-Gut Connection*» كلًّا من المخ والأمعاء بما يعيش فيهما من كائنات دقيقة على أنهما جزء من بنية واحدة شديدة التماسك، على المستويين التشريحي والكيميائي. وهو يؤكد ـ وإنْ كان ذلك بأدلّة بدائية ـ على أن الجهاز العصبي الداخلي ـ أي شبكة الخلايا العصبية التي تتحكم في الجهاز الهضمي ـ يعمل كدماغ مصغر، ينقل المعلومات الحسية من الأمعاء إلى الجهاز العصبي المركزي. وكان من المدهش معرفة أن الميكروبات تحوي نسخًا عتيقة من ببتيدات وهرمونات مؤشرة، عُثِرَ عليها في القناة الهضمية للإنسان، من ضمنها النورادرينالين noradrenaline، والسيروتونين serotonin، والإندورفينات endorphins؛ ما قد يدعم نظرية ماير. يظن ماير أن الأخطاء البرمجية المبكرة في محور (المخ-الأمعاء-الميكروبات) المفترَض ربما تتسبب في حالات مرضية قد تستفيد من العلاج بواسطة المُتَمِّمات الحيوية probiotics.

لقد انحدرنا كبَشَرٍ من الميكروبات، وتطورنا في وجودها، وضممنا بعض عناصرها إلى خلايانا. ومن المؤكَّد أن تشخيص الميكروبات سيصير اختبارًا نمطيًّا، مثله مثل اختبار الدم. ولا ريب أن الكنز الوافر من الجزيئات البكتيرية سوف يُستخدم لتغيير ما نحن عليه الآن، بل وقد يؤثر رفاقنا «الميكروبيون» في استجاباتنا لعوامل علاجية مهمة، مثل العقاقير المضادة لبروتينَيّ PD-L1، و CTLA4؛ لتنشيط الجهاز المناعي لدى المصابين بالسرطان. وقد تأسست عدة مبادرات إقليمية، منها «المشروع الأمريكي للميكروبيوم البشري»، و«المبادرة الوطنية للميكروبيوم»؛ بغرض دراسة الميكروبيوم البشري. وتَعِد العملياتُ المعقدة ـ الخاصة بفهرسة الطبيعة الحيوية للميكروبات، وتوصيفها، ورسم خرائطها، على مستوى العالم ـ بتيسير وضع تسلسل الجينوم البشري. ويبدو أن ثمة خطة عالمية تلوح في الأفق. ■

أدريان وولفسون مؤلف كتاب «الحياة بدون جينات *Life Without Genes*».
البريد الإلكتروني: adrianwoolfson@yahoo.com

SELMUR/CINEMA REL. CIRO./THE KOBAL COLLECTION

كليف روبرتسون في دور البطولة في فيلم «تشارلي» 1968، المقتبس من رواية «زهور لألْجِرْنُون».

لمحة من الماضي

زهــور لألْجِــرْنُــون

يعود بنا **أنانيو بتاتشاريا** إلى قراءة رواية خيال علمي، تُعتبر بمثابة حجر أساس لأخلاقيات علم الأحياء التجريبي.

زهور لألْجِرْنُون
دانيال كيز
هاركورت، بريس آند وورلد: 1966.

عاصَر كاتبُ الخيال العلمي دانيال كيز ـ الذي توفي في عام 2014، وهو في السادسة والثمانين من عمره ـ ثورات كبرى في العلوم الطبية الحيوية، بدءًا من اكتشاف الشريط اللولبي المزدوج للحمض النووي DNA، وصولًا إلى إعداد التسلسل الجينومي البشري، لكن الوازع الأخلاقي لم يكن مواكِبًا لسير الأمور دائمًا. وتؤكد رواية كيز، التي تحمل عنوان «زهور لألْجِرْنُون *Flowers for Algernon*» ـ التي أتمَّت عامها الخمسين هذا العام ـ مدى تَجاهُل الحاجة إلى ذلك الوازع، أو الاستهانة به. مِن بين الحالات المرصودة دراسة أجرتها جامعة هارفارد بين عامي 1946، و1953، بالتعاون مع معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، وبدعم جزئي من عملاقة الصناعات الغذائية «كويكر أوتس» Quaker oats. وفي هذه الدراسة، تم إطعام عشرات الأطفال ممن لديهم صعوبات تَعَلُّم ـ في مدرسة والتر إي فيرنالد في والثم بولاية ماساتشوستس ـ حبوبًا غذائية تحتوي على مواد كيميائية مشعَّة، تساعد على مراقبة امتصاص أجسامهم للحديد والكالسيوم. ولم يتم إخبار الصبية إلا بأنهم بصدد الانضمام إلى نادٍ علمي، ولم يتطرَّق نموذج الموافَقة المرسَل إلى آبائهم إلى ذِكْر التعرض لإشعاع. وقد انتهت لجنة من وزارة الطاقة الأمريكية في عام 1994 إلى أنه "مِن المستبعَد جدًّا" أن يكون الصبية قد تأذَّوا من الإشعاع، ولكنّ تجاهُل حقوقهم الإنسانية ـ في حد ذاته ـ أمرٌ فظيع. وكانت هناك تجارب

أخرى أكثر فظاعة بكثير، منها تجارب مُجَرَّمة من جانب الحكومة الأمريكية، إذ لم يتم قطّ إخبار مئات الرجال الأمريكيين ـ الذين هم من أصول أفريقية ـ المشاركين في تجربة توسكيجي لمرض الزهري في ألاباما بين عامي 1932، و1972 بأنهم يعانون من المرض، كما لم تتم معالجتهم، على الرغم من توفُّر البنسلين منذ أربعينات القرن العشرين.

لم تكن «تجربة» توسكيجي لتحدث اليوم أبدًا، بيد أن تجاوزات دراسة ماساتشوستس الأكثر خبثًا ـ المتمثلة في الإخفاق في اعتبار المشاركين أهدافًا في حد ذاتهم، بدلًا من اعتبارهم وسيلةً لتحقيق أهداف الباحثين ـ تظل مثالًا لعدم الأخلاق. وهذا التعامل الخالي من المشاعر مع البشر وحيوانات المختبر، سعيًا وراء المعرفة العلمية، هو ما التقطه كيز في روايته «زهور لألْجِرْنُون».

تقصّ الرواية ـ التي استندت إلى قصة قصيرة، نشرها كيز في عام 1959 ـ جانبًا من سيرة تشارلي جوردون، البالغ من العمر 32 عامًا، الذي وافق على الخضوع لعملية تجريبية في المخ، من شأنها أن تساعده في التعافي من صعوبات التعلم الشديدة، وتساعده في رفع مستوى ذكائه (كانت درجة ذكائه 68). ولم يكن قد سبق لفرد أن خضع لهذه العملية بنجاح، إلا فأر مختبر، اسمه «ألْجِرْنُون». وبعد العملية، ارتفع معدل ذكاء تشارلي بسرعة؛ واكتسب القدرة على تعلُّم لغات جديدة، والتمكن من العلوم والآداب. وتبيِّن مذكراته ـ التي تمثل صلب الرواية ـ وعيه المتنامي بميوله الجنسية وعواطفه، وتحديدًا مشاعره تجاه معلِّمته السابقة في مركز كلية بيكمان للبالغين المصابين بالتأخر العقلي.

«ما يشغل بال كيز هو فشل العلماء المذكورين في روايته في النظر إلى تشارلي باعتباره بشرًا كاملًا».

وما يَكشِف مقصد كيز أكثر فأكثر هو تطوُّر العلاقة بين تشارلي، وألْجِرْنُون، فبعد أن كان تشارلي ساخطًا ـ في بادئ الأمر ـ على تفوق ألْجِرْنُون العقلي (حيث كان الفأر يغلبه بسهولة في الخروج من المتاهة)، طوَّر تشارلي صلة قوية مع زميله في التجربة. وفي أوج عبقريته، يبدأ تشارلي في تفحُّص التجربة ذاتها، سعيًا لتطويرها، ودَفْعها إلى الأمام. وفور اكتشافه عيوب التجربة، يختطف ألْجِرْنُون؛ لحمايته. وتُعَدّ الانتكاسة التي ينتهي بها الكتاب ساحقةً إلى درجة أن خمسة ناشرين رفضوا المخطوطة، قبل أن تجد طريقها إلى النور. وأصبحت الرواية من بين الروايات الأكثر مبيعًا، فقد باعت ما يزيد على 5 ملايين نسخة حتى الآن، وكانت نواة للفيلم الذي نجح نجاحًا ساحقًا «تشارلي» *Charly*، والذي خرج إلى النور في عام 1968، وكان من بطولة كليف روبرتسون. ولا تزال الرواية حاضرة في نِقاشات أخلاقيات علوم الأحياء.

حصل كيز على درجة علمية في علم النفس، وأصبح بعد الرواية أستاذًا للكتابة الإبداعية في جامعة أوهايو في أثينا. وبين الفترتين، عمل محررًا لمجلة «مارفل ساينس ستوريز» *Marvel Science Stories* الرخيصة، كما عمل في المجلة المصورة «أطلس كوميكس» *Atlas Comics*، التي انبثقت منها «مارفل كوميكس» *Marvel Comics*. كما قضى فترة وجيزة في تدريس اللغة الإنجليزية في المدارس الحكومية في مدينة نيويورك. وينبع التعاطف ـ الذي ساد الرواية ـ من تجربته في تدريس الأطفال المصابين بصعوبات التعلم. فعندما عاد أحد الطلبة إلى صَفِّه بعد طول غياب، لاحظ كيز أنه نسي كيفية القراءة، وقال عن تلك الواقعة: "كان قد فقد قدرته على القراءة تمامًا. انفطر قلبي". ويبدو أن تعاطفه مع «ألْجِرْنُون» تَفَجَّر جزئيًّا بسبب واقعة تشريح فأرة في الجامعة؛ فقد أخذ كيز يرتجف حين كَشَفَ تشريحه للفأرة عن وجود "عنقود من الأجنة الصغيرة" في رحمها.

NATURE.COM
للمزيد حول العلم والثقافة، انظر:
go.nature.com/booksandarts

وعلى الرغم من تعاطفه مع كائنات التجارب، بشريةً كانت أم حيوانية، لا يصوِّر كيز الباحثين بصورة نمطية على أنهم عباقرة أشرار. ورغم أن كيز كان يكتب قبل إرساء الأفكار الحديثة الخاصة بالحصول على موافقة مسبَقَة في أواخر القرن العشرين، إلا أنه يصوِّر كيف تَكَبَّد قائد التجربة ـ عالِم النفس اللاهث خلف مستقبله الوظيفي، هارولد نيمَر ـ المشاق للحصول على تصريح من أقارب تشارلي لإجراء عمليته. ويهتم جرّاح المخ جيسون ستراوس ـ الذي يُجْرِي العملية ـ بالحالة الصحية لتشارلي طوال الوقت. وما يشغل بال كيز هو فشل العلماء المذكورين في روايته في النظر إلى تشارلي باعتباره بشرًا كاملًا، قبل إخضاعه لعملية تحسين مستوى ذكائه تلك. وفي حين لم يشهد إدراك تشارلي لـ«كينونة» أليجرنون إلا نموًّا، لم يكن نيمَر قادرًا على رؤية تشارلي، إلا في صورة مسخ «فرانكنشتاين» لطيف.

نرى ذلك الصلف جليًّا في أيامنا هذه أحيانًا، حين يخفِق الباحثون في تقدير عواقب تجاربهم على نحو شامل (S. Aftergood *Nature* **536**, 271–272; 2016). وتشير مجموعة من النتائج إلى أن سلامة قوارض المختبَر لم تكن على جدول الأولويات بصورة كافية. فعلى سبيل المثال، تُوضع الفئران في درجة حرارة تبلغ حوالي 20 درجة مئوية، وهو ما يُعَدّ أكثر برودة من درجة الحرارة المناسبة لهم، وهي 30 درجة مئوية (انظر: *Nature* http://doi.org/bnh7; 2013). كما تعاني حيوانات كثيرة من حيوانات المختبر من زيادة في الوزن. وبالإضافة إلى أن هذه الظروف تمس سلامتها، فثمة دليل على أنها يمكن أن تؤدي أيضًا إلى إفساد نتائج التجارب (*Nature* **464**, 19; 2010).

وفي هذا العام، وجهت انتقادات إلى خطط ترمي إلى تخليق جينوم بشري اصطناعي، تمت مناقشتها بين ما يزيد على 100 عالِم خلف الأبواب المغلقة، دون أن تركِّز على التداعيات الأخلاقية (*Nature* **534**, 163; 2016). وقد تركَّز جدلٌ آخر على سلالة الخلية شائعة الاستخدام «هيلا» HeLa، التي تم استخراجها في عام 1951 من الورم الرحِمي الذي أودى بحياة امرأة أمريكية أفريقية تُدعى هينريتا لاكْس، على الرغم من أنها لم تمنح أحدًا موافقتها على مثل ذلك الاستخدام. وفي عام 2013، نُشر جينوم سلالة الخلية، دون الحصول على إذن من أقارب لاكْس الأحياء.

ومع دخول العالم عصر تحرير الجينوم، فإنه يغري العلماء بالاستئثار بالجدل الأخلاقي مرةً أخرى. ولتجنب الانسياق وراء هذا الإغراء، لا أقلَّ من أن يرجع الباحثون إلى رواية كيز المذهلة، وهي العمل الذي لم تتوقف المطابع ـ وفي ذلك حكمة ـ عن ضخ نُسَخ جديدة منه. ■

أنانيو بتاتشاريا مراسل علمي لمجلة «الإيكونومِسْت» The Economist في لندن.
البريد الإلكتروني:
ananyobhattacharya@economist.com

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

أبحـــاث

أنبـاء وآراء



L. K. SANDERS, R. TRUBY, M. WEHNER, R. WOOD & J. LEWIS/HARVARD UNIV.

الشكل 1 | "الأوكتوبوت": قام وينر وزملاؤه[3] بتصنيع روبوت على شكل أخطبوط، تم بناؤه بالكامل من مواد مرنة. يضم جسم الروبوت مصدرًا للطاقة يعمل بالوقود السائل، ونظامًا مائعيًّا يتحكم في النمط الدوري لحركة الأذرع. وتظهر في الصورة مشغلات الحركة، التي تتسبب في رفع الأذرع على شكل مستطيلات أرجوانية اللون. شريط مقياس الرسم: 10 ملم.

روبوتيات

جيــل الروبــوتــات المــرنــة

تَعَرَّف على الـ"أوكتوبوت".. أول روبوت مصنوع بالكامل من مواد مرنة. يمثل الـ"أوكتوبوت" ـ الذي يعمل من خلال تفاعل كيميائي، وتتحكم فيه دائرة منطقية مائعية ـ إيذانًا بميلاد جيل جديد من الروبوتات المرنة، التي قد تتفوق على نظيرتها التقليدية.

باربارا مازولاي، وفيرجيليو ماتولي

تُستخدم الروبوتات عادةً في سياق عمليات التصنيع التي تنطوي على بيئات جيدة التنظيم. تسمح لها تلك الظروف بالتحرك وفقًا لإجراءات محددة مسبقًا، مما يحدّ من تفاعلها مع العاملين من البشر لأسباب تتعلق بالسلامة، ولكن إذا ما نُقلت هذه الآلات إلى بيئات "حقيقية" خارج المصانع، سيتعين عليها التعامل مع أوضاع غير محددة، والتكيف مع ظروف متغيرة، والتصرف وفقًا لها، والتفاعل بأمان مع الكائنات الحية، بما في ذلك البشر[1]، وهي مشكلات يصعب حلها باستخدام التكنولوجيا التقليدية التي يُصنع فيها الروبوت من مواد صلبة. وستكون الروبوتات المصنوعة من مواد مرنة قابلة لإعادة التشكُّل[2] أكثر قدرة على الإمساك بالأشياء غير المعروفة لها، والتعامل معها، والتحرك على تضاريس وعرة وغير منتظمة، وربما تكون أقل خطرًا على البشر. وفي بحث نُشر في دورية *Nature*، يقدم وينر وزملاؤه[3] أول روبوت يستغني تمامًا عن الهياكل وأنظمة التحكم الصلبة.

وتمثل أجزاء الجسم المرنة أهمية كبيرة في عديد من الكائنات الحية في الطبيعة؛ فهناك حيوانات مثل الحبار، ونجم البحر، والديدان، تتكون بالكامل تقريبًا من مواد مرنة وسوائل، مما يزيد من قوتها وقدرتها على التكيف في بيئتها. ولذا ثمة اعتقاد متزايد بأن المواد المرنة قد تساعد تكنولوجيا تصنيع الروبوتات على التفوق على قدراتها الحالية، من خلال السماح للروبوتات بالاستطالة، والانضغاط، والتسلق، والنمو. فعلى سبيل المثال، يمكن لأذرع الروبوتات المرنة المستوحاة من الأخطبوط أن تستطيل[4]، ويمكن للروبوتات المرنة التي تحاكي اليسروع أن تتحرك حركة متموجة، وتقفز[5].

في عام 2011، نُشرت[6] تقارير عن محاولة بارزة لتطوير روبوت مرن البنية تمامًا على أيدي باحثين من المجموعة البحثية نفسها، التي يعمل بها وينر وزملاؤه. في تلك الحالة، كان الروبوت نفسه يتكون حصريًّا من مواد مرنة، ولكن تم استخدام نظام "مضخة وصمام" تقليدي؛ لتنفيذ (تفعيل) أنواع مختلفة من الحركة بالهواء المضغوط، وتم توصيل النظام بالروبوت عن طريق كابلات. ويعمل وينر وزملاؤه حاليًّا على دفع الحدود التكنولوجية لأبعد من ذلك؛ حيث لا تقتصر الأجزاء المرنة من الروبوت الجديد على جسم الروبوت

ووحدات التشغيل فحسب، ولكن تمتد أيضًا لتشمل نظام التحكم، ومصدر الطاقة، اللذين تم دمجهما في الروبوت. وبهذا يكون هذا الروبوت هو أول روبوت مرن تمامًا يستطيع العمل بدون أن يكون مقيدًا بكابلات.

يمتلك الروبوت المصمَّم على شكل أخطبوط ـ الذي أُطلق عليه الباحثون اسم "أوكتوبوت" (الشكل 1) ـ ثمانية أذرع، يتم تحريكها من خلال آلية هوائية تعتمد في عملها على تمدد حجيرات مدمجة قابلة للنفخ، تعمل كمُشغِّلات حركة، وتُدمَج مشغلات الحركة هذه في شبكة مائعية-هوائية تعمل بوقود سائل (محلول مائي من بيروكسيد الهيدروجين). يمر الوقود عبر حجيرات تفاعل تحتوي على محفز قائم على البلاتين، يؤدي إلى تحلل بيروكسيد الهيدروجين. ينتج عن هذا التحلل أكسجين مضغوط، يقوم بنفخ مشغلات الحركة، وبالتالي توليد حركة الذراع.

يتحكم وينر وزملاؤه في تسلسل حركات أذرع الأوكتوبوت باستخدام دائرة مائعية مرنة تمامًا، قائمة على نظام من الصمامات التي تعمل كعناصر للبوابات المنطقية. تقوم الدائرة بتوليد ذبذبات تحوِّل تدفق الوقود المضغوط من غرفة تخزين الوقود إلى تدفق يتناوب بين حجيرات التفاعل المختلفة، إلى أن ينفد الوقود من النظام. ومن ثم، فإن الأوكتوبوت يكرر دورات من الحركة، يقوم فيها أولاً برفع أربعة أذرع، في حين يخفض الأربعة الأخرى، ثم العكس (انظر: go.nature.com/2b3cn3s). وجسم الروبوت بأكمله، بما في ذلك الدوائر المائعية، مصنوع من مواد قائمة على السيليكون، لها خصائص ميكانيكية مختلفة، مصمَّمة خصيصًا لتناسب المتطلبات الوظيفية لمختلف الأنظمة الفرعية.

يتطلب صنع روبوتات مرنة مستقلة تحقيق التكامل بين مواد ووظائف مختلفة، مثل أنظمة تشغيل الحركة، والإمداد بالطاقة، والمنطق. ويمثل الأوكتوبوت نظام الحد الأدنى الذي يوضح إمكانات هذا النهج. ولتحقيق التكامل المطلوب، استخدم وينر وزملاؤه مزيجًا من تقنيات التصنيع المتقدمة ـ بما في ذلك القولبة الدقيقة[7]، والطباعة الحجرية المرنة[8]، والطباعة ثلاثية الأبعاد المدمجة متعددة المواد[9] ـ لإنتاج هياكل مطاطية مدمجة في القنوات المائعية، تمتد لعدة درجات كمية في مقاييس الطول. وعلى الرغم من تعقيدها الظاهري، فإن إمكانية تخصيص عملية التصنيع هذه حسب الطلب مَكَّنت مؤلفي البحث من التحقق من صحة التعديلات على التصميم باستخدام أسلوب سريع يعتمد على التجربة والخطأ، بحيث أمكن التوصل إلى التصميم الأمثل للجهاز النهائي بسرعة.

إن استخدام وينر وزملائه لمواد مرنة وتشكيلات متصلة ـ انحناءات مستمرة للأذرع لتوليد الحركة، بدلاً من الحركة الناتجة عن هياكل صلبة متصلة ببعضها بواسطة مفاصل دورانية ـ يُمَهِّد الطريق لمزيد من التطورات العلمية والتكنولوجية. وتتمثل الخطوات التالية في تطوير أنظمة تحكُّم حاسوبية (مثل دوائر مائعية أكثر تعقيدًا) تسمح بنطاق أكبر من الحركات؛ وتحديد قواعد تصميم جديدة للروبوتات المرنة، واعتماد وتحسين تقنيات التصنيع.

ولا تزال هناك تحديات أخرى.. فعلى سبيل المثال، قد تكون القُوى التي يمكن للروبوتات المرنة أن تبذلها على البيئة محدودة، مما قد يحدّ من مجالات استخدامها. وإضافةً إلى ذلك، فإن استخدام الدوائر المنطقية المائعية كنُظُم تحكُّم، بدلاً من الإلكترونيات التقليدية، قد يحدّ من تعقيد السلوكيات التي يمكن توليدها. وهناك حاجة أيضًا إلى فهْمٍ أفضل لخصائص المواد المرنة، وكيفية تفاعلها مع أنظمة التحكم، ومع البيئة المحيطة؛ وذلك لإنتاج السلوك المطلوب من الروبوت في السياقات الواقعية[10].

ورغم أن الروبوتات المرنة لا تزال في مهدها، فإنها تحمل وعودًا كبيرة لعدة تطبيقات، مثل خدمة وفحص الماكينات، وعمليات البحث والإنقاذ، وعمليات الاستكشاف. وقد تفتح الروبوتات المرنة أيضًا المجال لأساليب جديدة لتحسين الصحة وجودة الحياة. وقد أصبحت المناظير المرنة ـ التي تسمح بالانثناء والاستطالة في جميع الاتجاهات، وكذلك بتَصَلُّب يمكن التحكم فيه ـ أمرًا واقعًا بالفعل[11]، وكذلك الأجهزة التقويمية المرنة والمستخدَمة في إعادة تأهيل الكاحل والقَدَم[12]. وقد تساعد النتائج التي توصل إليها وينر وزملاؤه على توجيه الأبحاث في هذه الاتجاهات، ومن ثم الإسهام في تشييد أركان المعرفة التي سيرتكز عليها الصرح العلمي لهذا المجال الجديد. ■

باربارا مازولاي، و**فيرجيليو ماتولي** يعملان في مركز الروبوتات الحيوية الدقيقة بالمعهد الإيطالي للتكنولوجيا، 56025 بونتيديرا، بيزا، إيطاليا.
البريد الإلكتروني: barbara.mazzolai@iit.it

1. Pfeifer, R., Lungarella, M. & Iida, F. *Science* **318,** 1088–1093 (2007).
2. Rus, D. & Tolley, M. T. *Nature* **521,** 467–475 (2015).
3. Wehner, M. *et al. Nature* **536,** 451–455 (2016).
4. Mazzolai, B., Margheri, L., Cianchetti, M., Dario, P. & Lasch, C. *Bioinspir. Biomim.* **7,** 025005 (2012).
5. Lin, H.-T., Leisk, G. G. & Trimmer, B. *Bioinspir. Biomim.* **6,** 026007 (2011).
6. Shepherd, R. F. *et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA* **108,** 20400–20403 (2011).
7. Heckele, M. & Schomburg, W. K. *J. Micromech. Microeng.* **14,** R1–R14 (2004)
8. Qin, D., Xia, Y. & Whitesides, G. M. *Nature Protocols* **5,** 491–502 (2010).
9. Wu, W., DeConinck, A. & Lewis, J. A. *Adv. Mater.* **23,** H178–H183 (2011).
10. Paul, C. *Robot. Auton. Syst.* **54,** 619–630 (2006).
11. Ranzani, T., Gerboni, G., Cianchetti, M. & Menciassi, A. *Bioinspir. Biomim.* **10,** 035008 (2015).
12. Park, Y.-L. *et al. Bioinspir. Biomim.* **9,** 016007 (2014).

أنظمة علم الأعصاب

خريطة حديثة لقشرة المخ البشري

خريطة موثقة للوحدات التي تشكِّل قشرة المخ البشري، تَعِدُ بأنْ تكون نقطة انطلاق نحو فَهْم أعمق لوظائف المخ، وما يصيبه من مرض.

بي. تي. توماس يوه، وسيمون بي. آيخوف

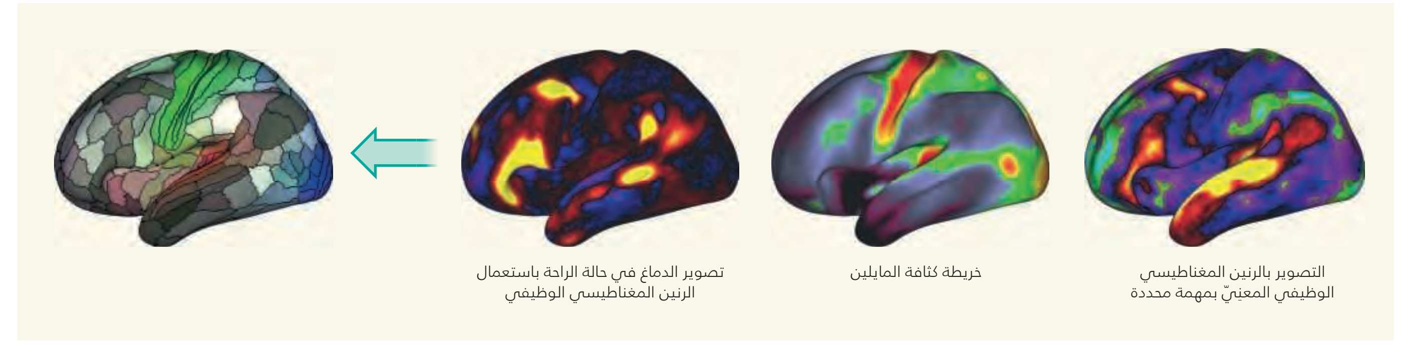
لقشرة المخ البشري دور أساسي في المعالجة الحسية والحركية، وكذلك الوظائف الذهنية، كفَهْم اللغة، والتفكير المنطقي؛ وهو مؤشر على مدى التعقيد الذي يميِّزنا عن الحيوانات الأخرى. وفي بحث نُشر مؤخرًا، يصف جليسر وزملاؤه[1] خريطة محدّثة لقشرة المخ البشري، وهو تقدُّم طال انتظاره، يطرح أطلس مرجعيًّا، مِن شأنه أن يسمح للباحثين المختصين في بِنْية المخ ووظيفته وتواصله أن يعملوا ضمن إطار عمل مشترك لأنظمة علم الأعصاب.

ولطالما دفع التمايز النطاقي في قشرة المخ إلى ظهور محاولات لتحديد المناطق المتميزة فيها، بدءًا من الدراسات التشريحية العصبية الكلاسيكية في بداية القرن العشرين[2]، حتى الطرق الحديثة غير الباضعة، المستنِدة إلى التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) داخل الأجسام الحيّة. ويزداد تعقيد هذه المساعي مع إدراك أن كل موقع في المخ يمكن وصفه بمجموعة تكاد تكون غير متناهية من الصفات، تتضمن كثافة بروتينات المستقبِل الخاصة بمجموعة متنوعة من جزيئات الناقل العصبي، والاتصالات طويلة المدى بأجزاء أخرى من الدماغ، والتخصص من أجل إتمام الحسابات العصبية التي تدعم وظائف محددة. حاولت غالبية الدراسات السابقة تقريبًا رسم حدود الأجزاء القشرية باستخدام صفة واحدة (الشكل 1)، إلا أن جليسر وزملاءه قاموا بزيادة النوعية والتنوع بشكل غير مسبوق في بيانات التصوير بالرنين المغناطيسي التي جُمعت في إطار مشروع الكونيكتوم البشري "Human Connectome Project"، الذي يهدف إلى توضيح المسارات العصبية التي تكمن وراء وظيفة وسلوك المخ باستخدام الطرق الأحدث لتصوير الدماغ[3].

يتيح التصوير بالرنين المغناطيسي طريقة لا يضاهيها شيء آخر لكشف المخ. فبإمكان آلة تصوير واحدة أن تسجل عدة قياسات مختلفة (تُعرف بالأنماط)، بدءًا من تحديد الكثافة النسبية لأغلفة المايلين العازلة للخلايا العصبية، حتى تحديد سُمْك قشرة المخّ، حيث يختلفان بشدة من منطقة قشرية إلى أخرى. وإضافة إلى ذلك يمكن للتصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي (fMRI) قياس تغيرات تدفق الدم المصاحبة للمهام الذهنية المختلفة، بالإضافة إلى نشاط الدماغ ككل في حالات الراحة، مقدِّمًا معلومات حول النشاط العصبي النطاقي المصاحِب لحالات الدماغ المختلفة.

إن تجميع المؤلفين للمعلومات المستقاة من عدة أنماط للتصوير بالرنين المغناطيسي لا يكتفي فقط بتقريب هذا العمل نحو التعريف الكلاسيكي للمنطقة القشرية أكثر من المحاولات السابقة، بل يمتاز أيضًا بعديد من المزايا الرئيسة عن الاستقصاءات الأخرى.

أولًا، بعض الأنماط يكشف حدودًا لا تظهر بشكل واضح مع غيرها. فعلى سبيل المثال، الحد الفاصل بين المنطقتين 3أ و3ب من القشرة الحسية الجسدية (التي تعالج المعلومات المتعلقة باللمس والألم) يمكن رسمه بسهولة من خلال رسم خرائط المايلين، لكن ليس عن طريق التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي للدماغ في حالة الراحة. ومثال آخر على ذلك.. هو ما قام به جليسر وزملاؤه، إذ ابتكروا تقنية للتصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي للدماغ في حالة الراحة، تقوم برسم خرائط طوبوغرافية للتواصل العصبي



الشكل 1 | رسم خريطة لوظائف الدماغ. قام جليسر وزملاؤه[1] بتحديد مناطق مميزة في قشرة المخ البشري، باستخدام مجموعة من تقنيات وضع الخرائط الدماغية التي سبق استعمالها بشكل منفصل فقط، وهي تتضمن التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي المعنيّ بمهمة محددة، ويعطي معلومات عن الوظائف التي تؤديها المناطق المختلفة؛ والكثافة النسبية لمادة المايلين التي تغلف الخلايا العصبية، والتي تعطي معلومات عن البنية القشرية؛ وتصوير الدماغ في حالة الراحة باستعمال الرنين المغناطيسي الوظيفي، الذي يعطي تفاصيل عن التواصل العصبي في المناطق المختلفة، وما بينها. تقدِّم الألوان الظاهرة في هذه اللوحات الثلاث خريطة حرارية للمقاييس؛ والنتيجة هي خريطة ترسم حدود 360 منطقة قشرية مختلفة. تمثل الألوان المختلفة طريقة ارتباط كل منطقة بالمُدْخلات الحسيّة (السمع بالأحمر، واللمس بالأخضر، والرؤية بالأزرق) وبالأنظمة المشاركة في عملية الإدراك (فاتحة وداكنة)، بينما تشير الألوان المختلطة إلى مناطق تتداخل فيها الأنظمة الوظيفية. (الصور مأخوذة من المرجع 1).

في القشرة البصرية. ويسمح الانتقال الحاد بين مستويات التواصل الطوبوغرافي عبر حدود المنطقة بعمل رسم أكثر وضوحًا للمناطق المنفصلة المشاركة في المراحل المبكرة من المعالجة البصرية، مقارنةً بخرائط المايلين، أو الأساليب التقليدية للتصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي للدماغ في حالة الراحة[4,5].

ثانيًا، يقلِّل التقارب عبر الأنماط المختلفة للتصوير بالرنين المغناطيسي من احتمال الخطأ في رسم الحدود، نتيجة للضوضاء، أو لتحيُّز خاص بميزة معينة. وهو أمر مهم، نظرًا إلى الطبيعة غير المباشرة لمعظم الأنماط، فمثلًا، يقيس التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي التغيرات التي تحدث في تدفق الدم، المصاحِبة للنشاط العصبي، كممثل للنشاط العصبي نفسه. ونتيجة لذلك كثيرًا ما يكون إجراء حسابات معقدة سابقة للمعالجة أمرًا ضروريًّا للتمييز بين الإشارات والضوضاء. ومن شأن التوافق بين الأنماط أن يزيد الثقة بأن الحدود تعكس الواقع الحيوي، بدلًا من تحيُّز القياس.

وأخيرًا، من شأن النهج التكاملي أن يجهّز الباحثين بشكل أفضل لوصف خصائص كل منطقة، كما يتضح من المواد التكميلية الشاملة التي قدَّمها جليسر وزملاؤه. وعلى سبيل المثال، يجد المؤلفون أن المنطقة القشرية التي وُصفت في الخمسينات بانخفاض محتواها من المايلين[6] يبدو أنها تشارك في المعالجة اللغوية، كما يتضح من قياسها بالرنين المغناطيسي الوظيفي المعني بمهمة محددة. ويتسق ذلك مع تحليل إحصائي جَرَى مؤخرًا لأكثر من 10,000 تجربة تصوير، شملت 83 مهمة سلوكية[7]. لذا تمثل خريطة جليسر وزملائه تقارُب عقود من الدراسات التشريحية العصبية الكلاسيكية مع الدراسات الحديثة غير الباضعة.

وعلى النقيض من هذا المجال المزدهر لوضع خرائط للمخ في حالة الراحة، بالاستعانة بالرنين المغناطيسي الوظيفي، الذي ركَّز بشكل كبير على الأساليب الأوتوماتيكية تمامًا لتقسيم الدماغ إلى أجزاء ذات أنماط تواصلية متجانسة[8]، استخدم جليسر وزملاؤه طريقة نصف آلية، يتم فيها بشكل واضح إدماج المعلومات المسبقة المجمَّعة من الدراسات التشريحية العصبية، لتحديد الحدود على خريطتهم. ويُعَدّ ذلك تقدُّمًا حاسمًا طال انتظاره على المناهج الحسابية الحصرية، التي لا تعتمد على المعرفة، إلا أن استخدام المعرفة المسبقة لاختيار الأنماط التي يمكن الوثوق بها في حالات تضارب الأدلة يستتبع مخاطر إدخال التحيز التأكيدي. كما قد يؤدي إلى جودة تفاضلية في وضع الخرائط بين المناطق التي توجد بها معلومات معروفة ذات صلة ـ مثل القشرة الحسية الجسدية، والقشرة البصرية ـ وتلك التي توجد عنها معلومات أقل، مثل قشرة الفص الجبهي، وقشرة الفص الجداري؛ اللتين تحملان أهمية خاصة لكثير من علماء الأعصاب، إذ تقوم هذه المناطق بحساب معظم الدالّات الخاصة بالبشر. في الواقع، نظرًا إلى تجاهل المؤلفين للمعلومات المستقاة من نمط معين، من أجل مجموعات البيانات الخاصة بهم، وهو الذي يحمل أهمية وظيفية، رغم قيامه بتجزئة المناطق القشرية الكلاسيكية، فإن إجراء المزيد من الاستقصاءات يُعَدّ أمرًا حاسمًا لفهْم كيف يمكن تمييز الحدود شديدة الوضوح في نمط واحد فقط عن الضوضاء الخاصة به.

وبشكل متصل، وعلى الرغم من أن جليسر وزملاءه قاموا بتحديد 360 منطقة قشرية، إلا أن هذه المناطق يمكن تقسيمها إلى وحدات أصغر، أكثر تجانسًا، وأقل تمايزًا عن بعضها البعض. فمثلًا، هناك أجزاء مختلفة من القشرة الحسية الجسدية التي تمثل أجزاء مختلفة من الجسم، يمكن اعتبارها وحدات حسابية مختلفة. كما أن هناك الكثير من الأمثلة لمناطق جديدة يتم تحديدها مع ظهور أساليب تكميلية أو أكثر حساسة، وهي مناطق اعتيادية[9]. وهكذا، ما زال العدد "الأمثل" للمناطق التي ينبغي تحديدها غامضًا، ناهيك عن العدد "الصحيح". ونحن نعتقد أن العدد الأمثل قد يكون معتمدًا على التطبيق. ومن ثم، فإن ما قام به الباحثون ـ برغم كونه ابتكاريًّا ـ قد لا يكون هو الكلمة النهائية في هذا الموضوع.

إن أحد الابتكارات الرئيسة في الدراسة الحالية يتمثل في خوارزمية آلية تسعى لتحديد المناطق القشرية في الأفراد المشاركين، وهي مهمة أكثر تعقيدًا بكثير عن وضع خريطة للمخ العادي. وقد حاولت الأعمال السابقة أن تقدِّر 10 إلى 20 شبكة وظيفية في الأفراد المشاركين (لمثال على ذلك اطّلع على المرجع 10)؛ إلا أن هدف جليسر وزملائه بترسيم 360 منطقة لهو هدف أكثر طموحًا. كما يعتبر التعرف على التنوعات الحيوية بين الأفراد والتفريق بين هذه التباينات وضوضاء القياس أمرًا ضروريًّا لفهْم العلاقة بين تنظيم الدماغ، والفروق الفردية السلوكية، إضافة إلى التطبيقات الإكلينيكية.

عند التحقق من صحة هذه الخوارزمية، ركَّز المؤلفون على جزء صغير فقط من قشرة المخ، ولذا فإن إجراء المزيد من البحوث أمر ضروري. ومع ذلك يمثل عملهم خطوة كبيرة نحو تحديد "واسمات حيوية" فردية للخلل الوظيفي الدماغي، لأن القياسات الكمية الفردية النوعية لكل منطقة ـ مثل حجم المادة الرمادية، أو قوة التواصل مع مناطق أخرى ـ يمكن أن تُحسَب الآن، ويمكن أن تشكل مؤشرًا قويًّا للفروق الفردية في السلوك، أو المرض.

إن الأطلس الذي وضعه جليسر وزملاؤه هو أول خريطة متعددة الأنماط تستهدف تحديد المناطق القشرية، وهو بالتالي يمثل تقدمًا كبيرًا في رسم خرائط المخ البشري. والآن، الأمر متروك للباحثين لاستخدام إطار العمل التشريحي المقدَّم، ومقارنته بالأساليب البديلة لرسم خرائط المخ البشري، وملء المناطق المحددة بالمعلومات الوظيفية، وتلك المتعلقة بالمرض. وبذلك يمكننا البدء في دمج البيانات متعددة الأنماط؛ لفهْم كيف يمكن للفروق الفردية في تنظيم المخ أن تفسِّر الاختلافات في الأداء الوظيفي، وفي السلوك والاضطرابات. ■

بي. تي. توماس يوه يعمل في قسم الهندسة الكهربائية والحاسوبية، مركز أبحاث تقنيات التصوير الإكلينيكي، معهد سنغافورة للتكنولوجيا العصبية، وبرنامج شبكة عمل الذاكرة، جامعة سنغافورة الوطنية، 117456 سنغافورة.
سيمون بي. آيخوف يعمل في قسم علم الأعصاب الإكلينيكي وعلم النفس الطبي، جامعة هاينريش هاينه، 40225 دوسلدورف، ألمانيا، ومعهد علم الأعصاب والطب (INM-I)، يوليش، ألمانيا.
البريد الإلكتروني لكل منهما: s.eickhoff@fz-juelich.de؛ thomas.yeo@nus.edu.sg

1. Glasser, M. F. *et al. Nature* **536,** 171–178 (2016).
2. Brodmann, K. *Vergleichende Lokalisationslehre der Großhirnrinde: in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues* (J. A. Barth, 1909); English transl. available in Garey, L. J. *Brodmann's Localization in the Cerebral Cortex* (Smith Gordon, 1994).
3. WU-Minn HCP Consortium. *NeuroImage* **80,** 62–79 (2013).
4. Buckner, R. L., Krienen, F. M. & Yeo, B. T. T. *Nature Neurosci.* **16,** 832–837 (2013).
5. Gordon, E. M. *et al. Cereb. Cortex* **26,** 288–303 (2014).
6. Hopf, A. *J. Hirnforsch.* **2,** 311–333 (1956).
7. Yeo, B. T. T. *et al. Cereb. Cortex* **25,** 3654–3672 (2015).
8. Eickhoff, S. B., Thirion, B., Varoquaux, G. & Bzdok, D. *Hum. Brain Mapp.* **36,** 4771–4792 (2015).
9. Amunts, K. *PLoS Biol.* **8,** e1000489 (2010).
10. Wang, D. *et al. Nature Neurosci.* **18,** 1853–1860 (2015).

السرطان

الدهون ومصير أورام البنكرياس

في حالة السمنة والإصابة بسرطان البنكرياس، تؤدي التفاعلات الكثيرة بين الخلايا الدهنية والبيئة المكروية الالتهابية المحيطة بالورم إلى تَراجُع القدرة على التكهن بتطور المرض، وأيضًا تَراجُع فعالية العلاج الكيميائي إلى مستوى أقل من المتوسط.

ميليك كنان أركان

إنّ الانتشار المتزايد للسمنة سيثقل كاهل نظام الرعاية الصحية أكثر مما كان متوقعًا في الماضي، لأنه اتضح أن السمنة تمثل عامل خطر رئيس يؤدي إلى الإصابة بالسرطان[1]؛ حيث ترتفع بشدة لدى مَن يعانون من السمنة احتمالات الإصابة بأحد أنواع سرطان البنكرياس، المعروف باسم السرطان الغُدِّي القنوي البنكرياسي، الذي يحتل المرتبة الرابعة بين أكثر مسبِّبات الوفاة المرتبطة بالسرطان شيوعًا[1]. وتُعَدّ البيئة المكروية الالتهابية سمة مميزة لمرض السرطان، بيد أنه لا تتوافر معلومات كثيرة عن كيفية إسهام التغيرات في الأنسجة الضامة المحيطة (السدى) في بدء تكوُّن وتطور الأورام في حالة السمنة. وفي تقرير نشرته دورية "كانسر ديسكَفَري" *Cancer Discovery*، كشف إنسيو وآخرون[2] عن بحثهم في كيفية إسهام الخلايا الدهنية في البيئة المكروية المحيطة بالخلايا السرطانية في بدء تكون الأورام وتطوُّرها لدى الفئران والبشر.

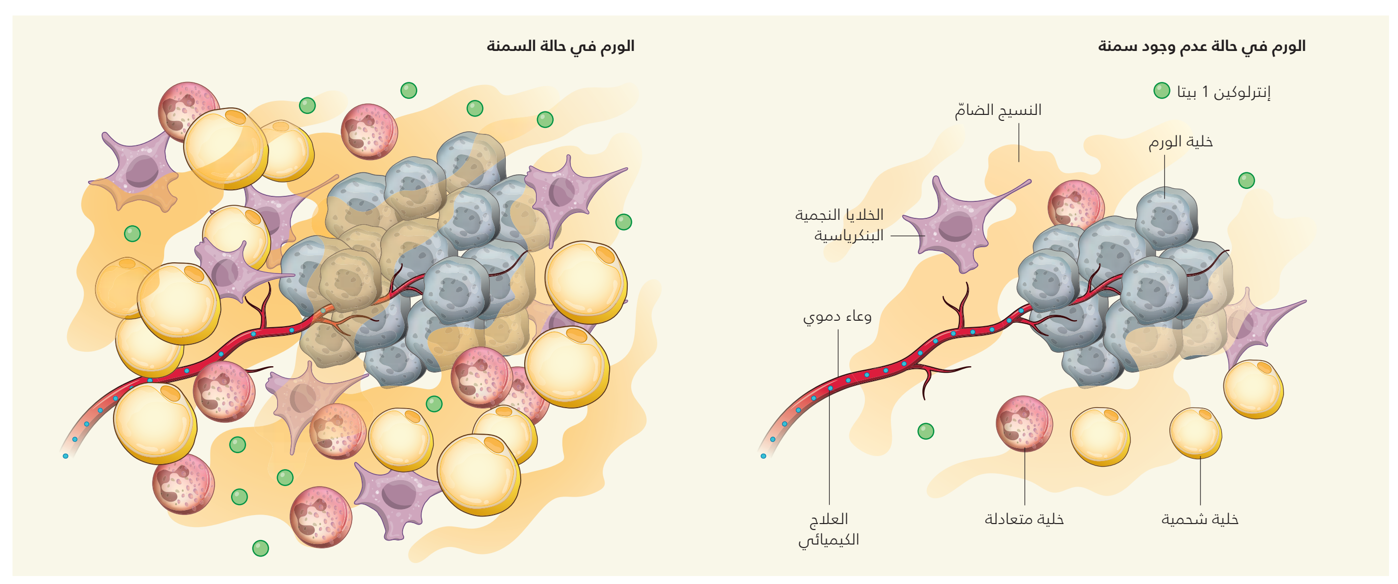
ينطوي تكوُّن الورم في البنكرياس على إحداث تشويه هيكلي مذهل للأنسجة، يرجع إلى اختلال الخلايا العُنيبية، التي تحتوي على إنزيمات هاضمة، وتسلل الخلايا المناعية للنسيج، واستجابة تليُّفية قوية (ما يعرف أيضًا باسم التليف: تكوُّن نسيج ضام زائد، أو بروتين الكولاجين حول الورم)، إضافة إلى ارتفاع مستوى ترسُّب مواد النسيج خارج الخلية عن المستوى المعتاد. وعادةً ما ترتبط الآفات السرطانية في الأشخاص الذين يعانون من السمنة بزيادة محتويات الخلايا الدهنية (الخلايا الشحمية)، مقارنةً بالأورام في حالة المرضى الذين لا يعانون من السمنة؛ ومع ذلك لا يزال الغموض يكتنف وظيفة هذه الخلايا الدهنية في سرطان البنكرياس.

يوضّح إنسيو وزملاؤه أنه في حالة الفئران، تقوم الخلايا الشحمية مع الخلايا المناعية والخلايا النجمية البنكرياسية بإرسال إشارة من خلال بروتين إنترلوكين 1 بيتا (IL-1β)، ومستقبِل الأنجيوتنسين AT1؛ لدفع الخلايا المناعية المعروفة باسم "الخلايا المتعادلة" إلى الهجرة إلى البيئة المكروية للورم، الأمر الذي يزيد من الالتهاب والتليف في البيئة المكروية لسرطان البنكرياس بطريقة تؤدي إلى ضعف الاستجابة للعلاج الكيميائي وتَراجُع القدرة على التكهن بتطور المرض. وفي الفئران البدينة، اتضح احتواء البيئة المكروية للورم على خلايا شحمية زائدة من حيث الحجم والعدد، ويرجع ذلك جزئيًّا إلى مهاجمة الأورام للأنسجة الشحمية البيضاء المجاورة. ولاحظ الباحثون زيادة التليف في مناطق الورم، التي تزداد فيها الخلايا الشحمية، أو الواقعة بالقرب من الأنسجة الشحمية. وتشير هذه النتائج إلى أن التليف سمة مميزة للأنسجة الشحمية في الفئران البدينة المصابة بسرطان البنكرياس، وأن تراكم بروتين الكولاجين للنسيج خارج الخلية، الذي يُعَدّ أحد مكونات التليف، في محيط الخلايا الدهنية هو أحد السمات المميزة للسمنة. كما توصل إنسيو وزملاؤه إلى أن تسلل الخلايا الشحمية إلى البيئة المكروية للورم يرتبط بسوء التكهن بتطور المرض، وضعف نتائج العلاج لدى المرضى.

افترض الباحثون أن تراكم الخلايا الشحمية المرتبط بالسمنة لدى الأشخاص المصابين بسرطان البنكرياس يزيد من التليف، ويعزّز من تطور الورم، ويعوق وصول العلاج الكيميائي وفعاليته. وعندما فحصوا النسبة المئوية للأوعية الدموية التي تعرضت للتروية في منطقة معينة من الأورام لدى الفئران؛ وجدوا أنها قد انخفضت بشكل كبير في الفئران البدينة. ولتحديد ما إذا كانت عرقلة التروية من خلال الأوعية الدموية هي المسؤولة عن ضعف توصيل عوامل العلاج الكيميائي أم لا، قام الباحثون بقياس امتصاص العلاج الكيميائي "فلوروپوراسيل-5" لدى الفئران، وتَبَيَّن أن السمنة قد خَفَّضت من امتصاص الورم للدواء بشكل ملحوظ، مقارنة بالامتصاص في الحيوانات غير البدينة، ومن ثم يقلل من فعالية العلاج الكيميائي (الشكل 1).

ومن المعتقَد أن التليف المزمن له دور كبير في تعزيز نمو الورم، وفي إضعاف وصول العقاقير. ومع ذلك تشير الدراسات السابقة إلى أن تثبيط التليف المزمن، إمّا عن طريق المركبات المثبِّطة[3]، أو الطفرات الجينية[3,4]، قد تنجت عنه زيادة في التثبيط المناعي، وتسارع نمو الورم، وانخفاض فرص البقاء على قيد الحياة، مما يشير إلى أن سدى الورم قد يحدّ من نمو الورم.

وعلى النقيض، يشير إنسيو وزملاؤه إلى أن تثبيط الممر الرئيس المحفِّز للتليف لإشارات مستقبِل الأنجيوتنسين AT1 في الفئران أسهَم في تثبيط تطور الورم. ويقترح الباحثون أن الانتقال إلى نسيج الخلايا المتعادلة المرتبطة بالورم وإنتاج بروتين إنترلوكين 1 بيتا يمثلان محركَين رئيسَين في تنظيم نمو



الشكل 1 | الخلايا الدهنية تعيد تشكيل البيئة المكروية حول الأورام. تحدث تروية الأورام عن طريق الأوعية الدموية، وهو ما يسمح لعقاقير العلاج الكيميائي بالدخول. ويفيد إنسيو وآخرون[2] بأنه في حالة السمنة يكون الوصول إلى أورام البنكرياس مقيدًا، بسبب ضعف تروية الأوعية الدموية للورم، مما يؤدي إلى ضعف استجابة الخلايا السرطانية لعقاقير العلاج الكيميائي. وفي حالة السمنة أيضًا تزداد الخلايا النجمية البنكرياسية، والخلايا المناعية، مثل الخلايا المتعادلة، وجزيئات بروتين إنترلوكين 1 بيتا المرسلة للإشارات، وكذلك الخلايا الدهنية الأكبر (الخلايا الشحمية). وتمارس البيئة المكروية الخلوية الأكثر كثافة في حالة السمنة المزيد من التوتر الميكانيكي على النسيج، وقد تعوق تروية الأوعية الدموية. وينشأ هذا التوتر الميكانيكي بسبب تداخل الإشارات بين الخلايا الشحمية، والخلايا المتعادلة، والخلايا النجمية البنكرياسية، والعناصر الأخرى في البيئة المكروية للنسيج. ويؤدي هذا التداخل إلى زيادة الخلايا الالتهابية، مثل الخلايا المتعادلة، والنسيج الضامّ الليفي الزائد بجوار الورم.

الورم في هذا السياق، رغم أن التغيرات في التروية الوعائية ـ نتيجة انخفاض ضغط الدم ـ لعبت دورًا محدودًا أيضًا. وحين قام الباحثون باستنزاف الخلايا المتعادلة، أو إيقاف نشاط بروتين إنترلوكين 1 بيتا باستخدام العلاج بالأجسام المضادة؛ أُعيد تشكيل البيئة المكروية المثبطة للمناعة، وانخفض تطور سرطان البنكرياس. وحين يتم استهداف إشارات مستقبِل الأنجيوتنسين AT1 في الفئران، قد تتأثر عمليات أخرى في مسار إشاراتِ هذا المستقبِل، من بينها تحول الخلايا الظهارية إلى خلايا اللُّحمة المتوسطة، أو تمايز الخلايا الشحمية. ومن الممكن أن تكون هذه العمليات مسؤولة عن انخفاض تطور الورم المصاحِب للسمنة.

ورغم أن الباحثين ربطوا بين الاستجابة التليُّفية، وحجم الورم، إلا أنه من الصعب تقرير ما الذي يحدث أولًا: الاستجابة التليُّفية، أم نمو الورم، لأن الحدّ من تطور الورم سيؤدي في النهاية إلى انخفاض تسلل الخلايا المناعية إلى البيئة المكروية للورم، وانخفاض نسبة التليف. وفي الحالتين، فإن نتائج هذه الدراسة وغيرها من الدراسات[3,4] تعزِّز من الحاجة إلى إجراء تقييم إضافي للإسهام الوظيفي للتليف في بدء سرطان البنكرياس وتطوره، لاسيما لدى المرضى المصابين بالسمنة.

ويزداد في الوقت الراهن الاعتقاد بأن التغيرات الخلوية الناتجة عن القوى الميكانيكية لها دور في الإصابة بأمراض عديدة[5]. فالاستتباب في التوازن بين القوى الداخلية والخارجية المؤثرة على الخلايا (حالة التوتر البدني المعروف باسم الاستتباب التوتري) يمكن أن ينظم موت الخلايا المبرمج، وتكاثر الخلايا، والتصاق الخلايا وهجرتها؛ في حين قد يؤدي عدم التنظيم إلى زيادة احتمال التعرض للإصابة بالسرطان. وإضافة إلى ذلك، فإن الإشارات البدنية القادمة من الضغط المبذول بواسطة مكونات النسيج الصلب للبيئة المكروية للورم يمكن أن تضغط الأوعية الدموية؛ مسبِّبةً تراجعًا في تروية الورم[6].

لقد أثبت إنسيو وزملاؤه أن العلاج بواسطة عقار "لوسارتان" ـ وهو أحد حاصرات مُستقبِل الأنجيوتنسين AT1 ـ يمكن أن يقلل من التوتر الميكانيكي على الخلايا، ويقلل من نمو الورم في الفئران المصابة بسرطان البنكرياس. وثمة حاجة إلى إجراء المزيد من الأبحاث؛ لدراسة نوع التحول في نسخ الحمض النووي الناتج عن الاستتباب التوتري في الوسط الخلوي الكثيف للبيئة المكروية للورم في حالة السمنة. ربما يوفر تثبيط القوى الميكانيكية المؤثرة على الخلايا في سرطان البنكرياس دلالات أخرى للعلاج الإكلينيكي المستقبلي. وقد يبدو جَعْل النسيج خارج الخلية للورم طبيعيًّا، عن طريق تقليل تَيَبُّس النسيج أكثر فعالية وأمانًا من محاولة التخلص من المكونات السَّدَوِيّة مباشرة.

وتمثل العلاقة بين الخلايا الدهنية، وتنظيم الخلايا الجذعية قضية أساسية أخرى. وتستجيب الخلايا الشحمية البيضاء الناضجة ـ مستودعات الدهون التي تتحكم في أيض الطاقة ـ للإشارات الغذائية والهرمونية، من خلال إفراز بروتينات باعثة للإشارات. وتشير الدراسات إلى أن الدهن الشحمي الأبيض له دور في إعادة بناء الأنسجة وتنظيم الخلايا الجذعية، مما يضع الخلايا الدهنية في قلب عديد من جوانب تطور السرطان[7]. وتسهم الخلايا الجذعية المتعلقة باللُّحمة المتوسطة أو الخلايا الجذعية السَّدَوِيّة بشكل كبير في توليد الخلايا الشحمية. كما يمثل التوتر الميكانيكي أحد محفزات توسع بعض مجموعات الخلايا الجذعية[8].

سيكون من المثير للاهتمام تحديد منشأ الخلايا الشحمية في البنكرياس، ومصيرها، والنمط الظاهري لها (ما إذا كانت الخلايا تكوِّن دهونًا بيضاء، أم بُنِّيّة، وكذلك نوع المركب الذي تفرزه). ومن بين الموضوعات الأخرى الجديدة بالبحث: دراسة إسهام الإشارات المستمدة من الخلايا الشحمية، التي تُطَوِّع وربما تستقطب تمايز الخلايا المناعية، ووظيفة اختراق الخلايا الشحمية خلال تكون الورم، ودور قصور أيض الطاقة في حالات السمنة.

إن الدراسة التي أجراها إنسيو وزملاؤه تقدِّم تفسيرًا خلويًّا وجزيئيًّا منطقيًّا؛ لزيادة تفاعل الخلايا الشحمية مع خلايا البيئة المكروية للورم المحفزة للالتهاب، والمحفزة للتليف، التي تعمل بدورها على تسريع تطور المرض، وإعاقة العلاج، لكن يبقى السؤال: هل الاستهداف النظامي للخلايا المتعادلة، أو الخلايا النجمية البنكرياسية، أو الخلايا الشحمية المرتبطة بالورم ممكنٌ بدون التسبُّب في أضرار جانبية لوظائف المضيف؟ قد تشكِّل هذه الأضرار تحديًا كبيرًا في نقل هذه النتائج مباشرة بنجاح، من السياق النظري إلى التجارب الإكلينيكية. ولن يتسنى لنا معرفة ما إذا كان استهداف بروتين إنترلوكين 1 بيتا، أو الخلايا المتعادلة قد يوفر فرصًا للتدخل العلاجي الناجح، أم لا، سوى بمرور الزمن. وفي غضون ذلك يظل أفضل نهج وقائي هو تناول طعام صحي، وممارسة التمرينات الرياضية. ■

ميليك كنان أركان باحثة في معهد الكيمياء الحيوية الثاني بجامعة جوته، فرانكفورت 60590، ومعهد بيولوجيا الأورام والعلاج التجريبي، مؤسسة جورج سباير هاوس، فرانكفورت 60596، ألمانيا.

البريد الإلكتروني: arkan@med.uni-frankfurt.de

1. Giovannucci, E. & Michaud, D. *Gastroenterology* **132,** 2208–2225 (2007).
2. Incio, J. *et al. Cancer Discov.* http://dx.doi.org/10.1158/2159-8290.CD-15-1177 (2016).
3. Rhim, A. D. *et al. Cancer Cell* **25,** 735–747 (2014).
4. Özdemir, B. C. *et al. Cancer Cell* **25,** 719–734 (2014).
5. DuFort, C. C., Paszek, M. J. & Weaver, V. M. *Nature Rev. Mol. Cell Biol.* **12,** 308–319 (2011).
6. Provenzano, P. P. & Hingorani, S. R. *Br. J. Cancer* **108,** 1–8 (2013).
7. Shook, B. *et al. Annu. Rev. Cell Dev. Biol.* http://dx.doi.org/10.1146/annurev-cellbio-111315-125426 (2016).
8. Guilak, F. *et al. Cell Stem Cell* **5,** 17–26 (2009).

تحفيز كيميائي

الموقع النشط المراوِغ.. في دائرة الضوء

من شأن التعرف على الموقع النشط الخاص بالعامل الحفاز الذي يحتوي على الحديد أن يُحْيِي الآمال في تصميم عوامل حفازة عملية، يمكن استخدامها في درجة حرارة الغرفة؛ لتحويل الميثان إلى الميثانول، الذي قد يُستخدم كوقود للمَرْكَبات.

جاي إيه.لابينجر

في بحث نشروه مؤخرًا، وصف شنايدر وزملاؤه[1] كيف تغلبوا على اثنين من أصعب التحديات في مجال التحفيز الكيميائي باستخدام طرق أكثر شيوعًا في دراسة الإنزيمات المحتوية على المعادن. يكمن التحدي الأول في كيفية تحديد الموقع النشط الخاص بالعامل الحفاز غير المتجانس ـ وهو مادة صلبة تستطيع أن تسرع التفاعلات بين الأنواع الكيميائية في الطور الغازي، أو الحالة السائلة ـ من بين مجموعة من المواقع المحتملة،وتحديد بنيته. أما التحدي الثاني الأكثر تحديًا، فيتمثل في كيفية تصميم عملية فعالة وانتقائية لتحويل الميثان ـ المكون الأساسي في الغاز الطبيعي ـ إلى منتج ذي قيمة أكبر. يجمع النهج الذي يقترحه المؤلفون بين تقنيات طيفية قوية، والنمذجة الحاسوبية، منتجًا صورة مفصلة للموقع التحفيزي المسؤول ـ على الأرجح ـ عن تنشيط الميثان؛ ليتسنى له التفاعل في درجة حرارة الغرفة.

هناك اهتمام كبير بتحويل الميثان إلى أنواع أخرى من الوقود السائل ذات فائدة أكبر، كالميثانول مثلًا، إلا أنه من المعروف عن الميثان أنه لا يتفاعل بسهولة، ومعظم عمليات تحوله إلى مواد أخرى تحتاج إلى ظروف معينة، كدرجات الحرارة العالية مثلًا، التي تكون غير مرغوب فيها لإنتاج المنتَج المطلوب بشكل انتقائي. ويبرز أحد الاستثناءات النادرة في الكائنات المجهرية، إذ تَستخدِم أنواعٌ من البكتيريا الميثانَ كمصدر للكربون والطاقة، عن طريق تحويله أولًا إلى الميثانول، باستخدام إنزيمات تُعرف باسم أحادي أكسيجينيز الميثان (MMOs).

في عام 1997، كَشَف بحث علمي عن هيكل يحتوي على الحديد، يمكن إنتاجه في بعض أنواع الزيوليت[2] من أجل تحويل الميثان إلى الميثانول، حتى في درجة حرارة الغرفة (الشكل 1). والزيوليت هو مادة بلورية تحتوي على صفوف منتظمة من المسامات التي يمكنها استضافة المواقع النشطة للعوامل الحفازة. وأحد الجوانب المثيرة للاهتمام في هذا الاكتشاف هو أن الأنواع القابلة للذوبان من إنزيم MMO مبنية على الحديد هي الأخرى، كما أنها تحتوي على مراكز ثنائية المعدن من أكسيد الحديدوز (Fe_2O_2) في مواقعها النشطة[3].

وباستخدام مجموعة متنوعة من التقنيات الطيفية، أشارت عدة مجموعات بحثية[4,5] إلى أن أنواع الحديد الموجودة في نظام الزيوليت هذا تحتوي على هيكل مماثل ثنائي المعدن، يعرف بمركز (α-Fe(II، إلا أن مثل هذه الدراسات يصيبها بعض التعقيد، بسبب الطبيعة غير المتجانسة للعوامل الحفازة غير المتجانسة؛ إذ يصعب تحديد ما إذا كان ملمح طيفي محدد يشير إلى الموقع النشط الفعلي، أم لا، وليس انعكاسًا لموقع "متفرج" خامل، أو نتاجًا غير واضح المعالم لمتوسط الموقعين. استطاع شنايدر وزملاؤه أن يقترحوا هيكلًا مختلفًا جدًّا لمركز (α-Fe(II، من خلال تفسيرهم للنتائج باستخدام مجموعة من الأساليب.

وكخطوة أولى، قام المؤلفون بمراقبة التغيرات في الطيف الضوئي للزيوليت المحتوي على الحديد أثناء تمرير المادة عبر المراحل العديدة للتفاعل المنتِج للميثانول. وقد سَمح لهم ذلك بربط قمم طيفية محددة بالحالات التفاعلية لنوع الحديد (α-Fe(II، وللنوع الوسيط α-O،الذي يتكون أثناء

الشكل 1 | تحويل الميثان إلى الميثانول في درجة حرارة الغرفة. هيكل يحتوي على الحديد[2]، يُدعى α-Fe(II)، يقوم بتحويل الميثان (CH_4) إلى الميثانول (CH_3OH)، ويمكن إنتاجه في مادة بلورية ذات مسام دقيقة تُسمى الزيوليت. تؤدي معالجة α-Fe(II) بأكسيد النيتروز (N_2O) عند 250 درجة مئوية إلى إنتاج α-O، الذي يحتوي على نوع من الأكسجين عالي التفاعل (الذرة الحمراء، الآتية في الأصل من أكسيد النيتروز) يستطيع بسهولة أن يزيل ذرة هيدروجين من الميثان عند 25 درجة مئوية. ويترابط جذر الميثيل الناتج ($CH_3^•$) مع الأكسجين؛ لينتج نوعًا مرتبطًا من الميثانول، يمكن استخلاصه بعد ذلك من الزيوليت باستخدام الماء. يذكر شنايدر وزملاؤه[1] أن ذرّة الحديد الموجودة في α-Fe(II) هي جزء من شكل هندسي مربع مستوي في حلقة من الذرات في الزيوليت؛ وتظهر تلك الذرات حول ذرة الحديد في α-Fe(II)، لكنها لا تظهر في البِنَى الأخرى التي تحتوي على الحديد. وFe هو رمز الحديد، وSi هو رمز السيليكون، بينما Al هو رمز الألومنيوم.

التفاعل، ومن ثم تمكنوا من التعرف على الملامح المقابلة في الطيف الذي حصلوا عليه من خلال قياس ازدواج اللون الدائري المغناطيسي (MCD)، وهو قياس عالي الحساسية للبنية الجزيئية والإلكترونية لمراكز المعادن الانتقالية، مثل الحديد. وبمقارنة المؤشرات التي تم تحديدها بواسطة قياس MCD ـ ومدى اعتمادها على درجة الحرارة، وقوة المجال المغناطيسي ـ مع تلك الخاصة بالمركبات النموذجية التي تمت دراسة بنيتها بصورة دقيقة، خلص المؤلفون إلى أن البنية الأكثر ترجيحًا لنوع الحديد α-Fe(II) تحتوي على مركز حديدي أحادي المعدن، نادر جدًّا، له شكل مربع مستوي (الشكل 1). أما α-O، فهو شكل هرمي رباعي القاعدة من المركب Fe(IV)=O؛ ينتج عن ارتباط ذرة أكسجين بقمة الهيكل ذي الشكل المربع المستوي.

من خلال مطيافية "موسباور" Mössbauer ـ وهي تقنية أخرى، تُستخدم عادة في مجال الكيمياء غير العضوية الحيوية؛ للتعرف على مراكز الحديد ـ وإلى جانب النتائج الحاسوبية، تم تدعيم ما توصل إليه شنايدر وزملاؤه. وكما حدث في الدراسة السابقة[4]، نتج عن مطيافية "موسباور" عند استخدامها على مركبات الزيوليت المحتوية على الحديد تَراكُب عدد من الإشارات؛ ما قد يشكل مشكلة، إذ قد يصعب إيجاد أساس منطقي للربط بين الإشارات المختلفة، وأنواع معدنية محددة. ولحسن الحظ، تمكَّن شنايدر وزملاؤه من الربط بين شدة الإشارات الأكبر، وتركيز الأنواع النشطة نسبيًّا بصورة دقيقة؛ كما يتضح من كمية المنتَج الذي تم الحصول عليه بنهاية التفاعل. ويمنحنا ذلك مزيدًا من الثقة بأن المؤلفين قد حددوا البِنَى الكيميائية للمراكز النشطة بشكل صحيح، كما يساعد في إظهار قدرة هذا النهج المطيافي متعدد الأوجه في التعرف على العوامل الحفازة غير المتجانسة.

وينبغي علينا أن ننتبه إلى أن النظام قيد الدراسة مناسب للنهج الذي استخدمه المؤلفون تحديدًا، دون غيره؛ وذلك لسببين: أولًا، يحتوي الموقع النشط على جزء كبير من إجمالي كمية أنواع الحديد الموجودة في الزيوليت، بنسبة تقارب 80%، أو أكثر. وثانيًا، يمكن إجراء كل خطوة من خطوات التفاعل على حده، إذ إنّ كلًّا منها يحدث تحت ظروف مختلفة، الأمر الذي يسمح بالربط ما بين هذه الخطوات والتغيرات المطيافية التي تنتج عنها. وأحد هذين الأمرين ـ أو كلاهما ـ لا ينطبق ـ على الأرجح ـ على باقي أنظمة التحفيز غير المتجانس المثيرة للاهتمام.

إن هيكل α-Fe(II) المقترح يرضي علماء الكيمياء، إذ إنه من المنطقي أن ترتبط الفعالية غير المعتادة لهذا النوع (التي تظهر في كسر الروابط ما بين ذرتي الكربون والهيدروجين في الميثان عند درجات الحرارة المنخفضة) بهيكل غير عادي (إذ من النادر أن تُوجَد مراكز Fe(II) في شكل مربع مستوي. ويرى المؤلفون أن هذه البنية تفرضها بيئة الزيوليت الصلبة، بما يشبه الطريقة التي تجبر بها البروتينات المواقع النشطة في الإنزيمات المحتوية على معادن على اتخاذ أشكال هندسية غير عادية[6]. كما أن اختلاف هذه البنية تمامًا عن نظيرتها في مراكز الحديد في إنزيمات MMO، برغم تشابه فعاليتهما، أمر مشجع؛ إذ يشير إلى أنه بمقدور أنواع متباينة من الحديد أن تحل معضلةتحويل الميثان إلى الميثانول.

وبرغم ذلك، لا يمكن النظر إلى منظومة الزيوليت والحديد تلك على أنها فعليًّا تحفِّز عملية تحويل الميثان؛ بل هي لا تُعتبر عامل حفّاز أصلًا.. فالخطوات المختلفة في هذا التفاعل تتطلب كل واحدة منها ظروفًا مختلفةً تمامًا.ولا تكتمل دورة التفاعل ـ بما في ذلك إطلاق المنتج من الزيوليت ـ إلا بإضافة خطوة إزالة، ما يخفِّض من معدَّل عملية تحوُّل الميثان إلى مستويات غير عملية.

إضافة إلى ما سبق، وبرغم نجاح الزيوليت المحتوي على الحديد في تنشيط الميثان وتفاعله، إلا أن هذه الخطوة ليست ـ بأي حال من الأحوال ـ الشرط الأساسي لإتمام عملية تحوُّل الميثان، ولا هي بالخطوة الأصعب. إن الجانب الديناميكي الحراري والجانب الحركي لهذه التفاعلات يجعلان من الصعب جدًّا أكسدة الميثان بصورة انتقائية، وتحويله إلى الميثانول، من دون حدوث أكسدة إضافية تحوِّله إلى ثاني أكسيد الكربون في نهاية المطاف[7]. في الزيوليت، يحدث الأمر بشكل انتقائي، بسبب إحكام وثاق الميثانول في المركز النشط، وتثبيته، ما يمنعه من التعرض للأكسدة الإضافية في موقع آخر في الزيوليت، إلا أن ذلك يتسبب أيضًا في الحدّ من معدل عمليات تحول الميثان؛ ليبقى عند معدلات منخفضة جدًّا. كما أن تشغيل هذا النظام بالشكل الحفاز فعليًّا سوف يعرِّض الميثانول لمزيد من الأكسدة، الأمر الذي سوف يقضي غالبًا على الانتقائية في الأمر، كما ظهر[8] حين استُخدم الزيوليت عند درجات حرارة مرتفعة (تفوق 200 درجة مئوية)، لكن يظل ما توصَّل إليه شنايدر وزملاؤه يقدِّم معلومات مهمة قد تساعد في تصميم عوامل حفازة لعملية تحويل الميثان إلى الميثانول؛ وهي عملية مرغوبة جدًّا. ■

جاي إيه. لابينجر يعمل في معهد بيكمان، معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا، باسادينا، كاليفورنيا 91125، الولايات المتحدة الأمريكية.
البريد الإلكتروني: jal@caltech.edu

1. Snyder, B. E. R. *et al. Nature* **536,** 317–321 (2016).
2. Panov, G. I. *et al. React. Kinet. Catal. Lett.* **61,** 251–258 (1997).
3. Shu, L. *et al. Science* **275,** 515–518 (1997).
4. Dubkov, K. A., Ovanesyan, N. S., Shteinman, A. A., Starokon, E. V. & Panov, G. I. *J. Catal.* **207,** 341–352 (2002).
5. Xia, H. *et al. J. Phys. Chem. C* **112,** 9001–9005 (2008).
6. Vallee, B. L. & Williams, R. J. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **59,** 498–505 (1968).
7. Labinger, J. A. *J. Mol. Catal. A* **220,** 27–35 (2004).
8. Parfenov, M. V., Starokon, E. V., Pirutko, L. V. & Panov, G. I. *J. Catal.* **318,** 14–21 (2014).

فيزياء المواد المكثفة

الإلكترونات فائقة التوصيل المفقودة

كان من المعتقَد أننا نفهم جيدًا الموصِّلات الفائقة "زائدة الإشابة" ذات درجات الحرارة المرتفعة، التي لديها كثافة عالية من حاملات الشحنة، لكن ثمة تجربة جديدة تتحدى ما نعرفه عن الفيزياء الكمية في مثل هذه الأنظمة.

يان زانن

ضع عددًا كبيرًا من الجسيمات الكمية المتفاعلة معًا؛ وسترى أشياء غريبة تحدث. ومن أبرز الأمثلة على ذلك التوصيل الفائق[1]، الذي تنعدم فيه المقاومة الكهربائية لبعض المواد عندما تُبرَّد إلى أقل من درجة الحرارة الحرجة (T_c). كانت أول تلك المواد التي تم اكتشافها فائقة التوصيل فقط عند درجات الحرارة المنخفضة (حيث تكون درجة الحرارة الحرجة بضع درجات كلفنية)، ويمكن تفسير سلوكها بنظرية باردين-كوبر-شريفر (BCS)[2]. وكان التوصيل الفائق يُعتبر فصلًا مكتملًا ومنتهيًا حتى الاكتشاف المدهش في عام 1986 لموصِّلات أكسيد النحاس فائقة التوصيل عند درجات حرارة مرتفعة[3]،

(حيث تصل درجة الحرارة الحرجة إلى 160 كلفن) التي لا يمكن وصف خصائصها بنظرية باردين-كوبر-شريفر[4]. ومع ذلك، كان من المعتقد أن زيادة إشابة هذه الموصلات الفائقة ـ وهو ما من شأنه زيادة كثافة حاملات الشحنة زيادة كبيرة، وبالتالي تخفض درجة الحرارة الحرجة لتلك المواد ـ سيجعلها في توافق مع النظرية[4]. يوضح بوزوفيتش وآخرون[5] في بحث نُشر في دورية *Nature* أنه حتى هذا النظام الذي تعرَّض لزيادة الإشابة غريب ومخالف للقاعدة، وهو اكتشاف له آثار على فهْمنا الأساسي للتوصيل الفائق.

في علم الإحصاء الكَمِّي، يمكن لجسيمات تُسمى بوزونات أن توجد في الحالة الكمية نفسها، في حين أن جسيمات الفرميون يجب أن تشغل حالات مختلفة، وهو تقييد يُسمى بمبدأ استبعاد باولي. وإذا شغل العديد من البوزونات أدنى حالة طاقة للنظام (وهي حالة تعرف باسم تكاثف بوز)؛ يحدث تضخيم للسلوك الكمي المجهري إلى المقياس العياني الذي يُرى بالعين المجردة، والنتيجة هي التوصيل الفائق.

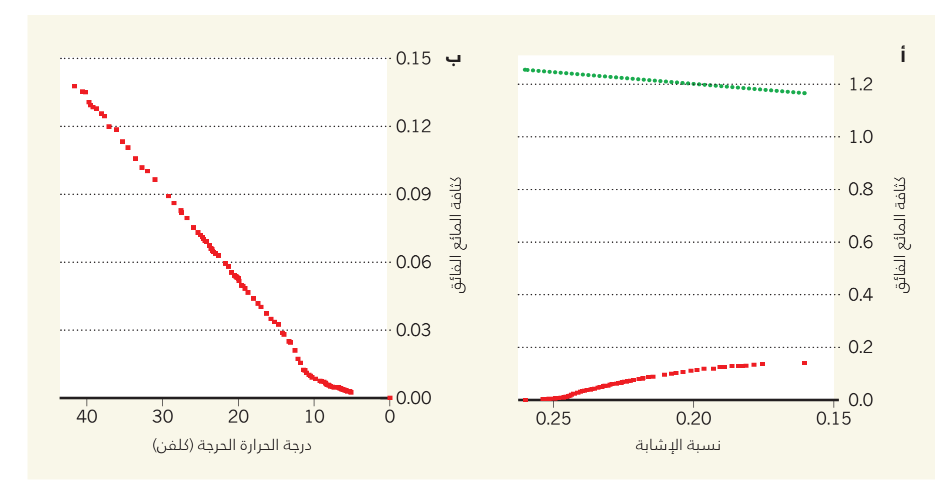
تشرح نظرية باردين-كوبر-شريفر كيف يمكن للإلكترونات أن تشكل تكاثف بوز، على الرغم من أنها فرميونات. إنّ الحالة الطبيعية للفرميونات هي غاز فيرمي، حيث تملأ الجسيمات أدنى مستويات الطاقة في النظام، وفقًا لمبدأ استبعاد باولي. والحد الفاصل بين مستويات الطاقة المشغولة والشاغرة يُعرف بسطح فيرمي. وحسب نظرية باردين-كوبر-شريفر، عند إدخال تفاعل جذبي صغير بين الإلكترونات في نظام ما، فإن الإلكترونات الأقرب إلى سطح فيرمي ترتبط معًا؛ لتشكيل ما يُسمى بأزواج كوبر[1,2]. ونظرًا إلى أن أزواج كوبر هذه بوزونات بفاعلية، فإنها تشكل تكاثف بوز.

قد يتوقع المرء أن الجزء الصغير من الإلكترونات الذي يشكل أزواج كوبر هو الذي يسهم فحسب في التوصيل الفائق، ولكن في الواقع جميع الإلكترونات في غاز فيرمي تشارك في هذه العملية. وبالتالي، فإن كثافة الإلكترونات فائقة التوصيل (كثافة المائع الفائق) تساوي تقريبًا مجموع كثافة الإلكترونات، وهو التنبؤ الذي تم تأكيده تجريبيًّا في العديد من الموصِّلات الفائقة "التقليدية"[1].

إنّ الوضع أقل وضوحًا ومباشرةً في حالة موصلات أكسيد النحاس الفائقة، لأن الإلكترونات في هذه الأنظمة تتفاعل بقوة[4]؛ حيث تتصرف الإلكترونات مثل سيارات على طريق سريع[6]، مشكِّلةً ازدحامًا مروريًّا (ما يعرف بـ"عازل موت"[7]) عندما تكون الكثافة عالية. وتعادل إشابة النظام تقليل كثافة السيارات على الطريق السريع؛ مما يؤدي إلى ظهور نوع من الحركة المتقطعة. والنتيجة هي زيادة درجة الحرارة الحرجة مع الإشابة، لتصل الى أقصى درجة عند مستوى يُعرف بالإشابة المثلى.

في النُّظُم زائدة الإشابة (عندما تزداد الإشابة إلى ما بعد مستوى الإشابة المثلى)، نجد أن السيارات (الإلكترونات) تتحرك بحرية أكبر، ولا تتفاعل بقوة؛ مما يؤدي إلى انخفاض درجة الحرارة الحرجة. وفي هذا النظام ضعيف التفاعل، قد يتوقع المرء أن يصبح النظام متوافقاً مع نظرية باردين-كوبر-شريفر[4]. ويبدو أن هذا الافتراض تأكَّد عندما لُوحظ مباشرة ظهور سطح فيرمي خضع لعملية تكوين أزواج كوبر نموذجية في مجموعة متنوعة من الأنظمة زائدة الإشابة[8,9]. ونظرًا إلى أنه في نظرية باردين-كوبر-شريفر تتساوى كثافة المائع الفائق تقريبًا مع مجموع كثافة الإلكترونات، فينبغي أن تكون كبيرة ومستقلة تقريبًا عن كلٍّ من الإشابة، ودرجة الحرارة الحرجة.

يقدم بوزوفيتش وزملاؤه أول قياسات موثوق فيها لكثافة المائع الفائق في نظامٍ زائد الإشابة. وقد استغرق الحصول على تلك القياسات وقتًا طويلًا، نظرًا إلى صعوبة تحضير هذه المادة، حيث إن أكاسيد النحاس زائدة الإشابة غير مستقرة كيميائيًّا، ولكنْ في إنجاز مثير للإعجاب في هندسة المواد،



الشكل 1 | التوصيل الفائق المدهش. قام بوزوفيتش وآخرون5 بقياس الخصائص الأساسية لموصلات أكسيد النحاس الفائقة زائدة الإشابة ذات درجة الحرارة المرتفعة. (أ) وقد نجحوا من خلال القياسات التي أجروها في تقدير كثافة المائع الفائق، حيث (اللون الأحمر، يمثل عدد الإلكترونات المشارِكة في التوصيل الفائق في كل وحدة خلية؛ ووحدة الخلية هي أصغر بنية تتكرر بشكل دوري في البلورة) كدالّة على نسبة الإشابة (مقياس لكثافة حاملات الشحنة). وقد لاحظوا إلكترونات فائقة التوصيل أقل بكثير مما كان متوقَّعًا، وفقًا لنظرية باردين-كوبر-شريفر (اللون الأخضر). (ب) تُعرض البيانات هنا في صورة مخطَّط لكثافة المائع الفائق في مقابل درجة الحرارة الحرجة (درجة الحرارة التي يمكن للمادة ـ دونها ـ أن تتصرف كموصل فائق). وتتناسب كثافة المائع الفائق طرديًّا مع درجة الحرارة الحرجة، على نطاق إشابة واسع. ولا تتفق النتائج المهمة التي توصَّل إليها الباحثون مع نظرية باردين-كوبر-شريفر القياسية، وتتطلب تفسيرات جديدة.

تمكَّن الباحثون من تحضير عينات شبه مثالية باستخدام تقنيات متطورة.

وعن طريق قياس كثافة المائع الفائق، كدالّة على عملية الإشابة، وجد الباحثون أن هناك عددًا أقل بكثير من الإلكترونات فائقة التوصيل مما هو متوقع، وفقًا لنظرية باردين-كوبر-شريفر (الشكل 1أ)، حيث تبدو غالبية هذه الإلكترونات مفقودة. قدَّم هؤلاء الباحثون أيضًا قانون قياس بسيط (دعنا نُطلِق عليه "قانون قياس بوزوفيتش"): تتناسب كثافة المائع الفائق طرديًّا مع درجة الحرارة الحرجة على كامل نطاق الإشابة الزائدة (الشكل 1ب). ونظرًا إلى الأدلة التجريبية التي تشير إلى أن نظرية باردين-كوبر-شريفر تنطبق على هذا النظام[8,9]، فإن النتائج تُظْهِر مفارقة، حيث إن قانون قياس بوزوفيتش لا يتوافق في الأساس مع تنبؤات نظرية باردين-كوبر-شريفر، ومن ثم فإنه غير متوقَّع على الإطلاق.

يمكن أن تُحَلّ هذه المفارقة جزئيًّا من خلال ثغرة نظرية؛ حيث تصف نظرية ليجت[10] الشروط التي يجب توافرها، حتى تتساوى كثافة المائع الفائق في نظام ما مع مجموع كثافة الإلكترونات. أحد هذه الشروط هو أنه يجب أن يكون النظام ثابتًا انتقاليًّا، أي أنه على المستوى الذري يجب أن يكون النظام هو نفسه في كل نقطة في الفضاء.

في الموصِّلات الفائقة، لا يحدث الثبات الانتقالي على المستوى الذري، لأن نظام الإلكترونات موجود في شبكة دورية تتكون من ذرات، ولكن في الموصلات الفائقة التقليدية تدفع الفيزياء الكمية النشاط الإلكتروني منخفض الطاقة إلى أن يتصرف كما لو كانت الشبكة غير موجودة؛ وبالتالي يتحقق الثبات الانتقالي في صورة تماثل عرضي (تماثل يُرى فقط على نطاقات واسعة)، مما يعني أن موصلات نظرية باردين-كوبر-شريفر الفائقة يجب أن تطيع نظرية "ليجت".

وعلى أي حال، في حالة موصلات أكسيد النحاس الفائقة ذات درجات الحرارة المرتفعة، تشير نتائج بوزوفيتش وزملائه إلى أن نظام الإلكترونات ككل يظل يتفاعل بقوة، حتى في النظام الذي مر بعملية زيادة الإشابة. ورغم أن مثل هذه الأنظمة قوية التفاعل لا تزال غير مفهومة تمامًا، فهناك أدلة تجريبية تشير إلى أنه في النظم ضعيفة الإشابة لا تنطبق نظرية "ليجت" على كثافة المائع الفائق[11]، لأن الإلكترونات تتأثر إلى حد كبير بوجود الشبكة، وبالتالي فإن الموصلات الفائقة ذات درجات الحرارة المرتفعة قد لا تسير وفق نظرية "ليجت" في النظام زائد الإشابة أيضًا.

إنّ المفارقات مفيدة للغاية في العلم، فالعلاقة البسيطة بين كثافة المائع الفائق ودرجة الحرارة الحرجة تشير إلى أنه ثمة مبدأ أساسي ما ينطبق على موصلات أكسيد النحاس الفائقة زائدة الإشابة. وقد لُوحظ قانون قياس مماثل[11] في النظام ضعيف الإشابة، وتم تفسيره من حيث ارتباط الإلكترونات معًا في أزواج في درجات حرارة مرتفعة، وتشكيل تكاثف بوز عند درجة الحرارة الحرجة، ولكن هذا التفسير لا يمكن أن ينطبق على النظم زائدة الإشابة، بسبب وجود سطوح فيرمي. وفي الواقع، لا يوجد شيء في كل الأعمال التي صدرت عن الأبحاث الكثيرة التي أُجريت على التوصيل الفائق يُلقِي الضوء على هذا اللغز، وقانون قياس بوزوفيتش يجبر الفيزيائيين على العودة إلى البحث من جديد. ■

يان زانن يعمل في معهد لورنتز للفيزياء النظرية في جامعة لايدن، RA 2300 لايدن، هولندا.
البريد الإلكتروني: jan@lorentz.leidenuniv.nl

1. Tinkham, M. *Introduction to Superconductivity* (Dover, 2004).
2. Bardeen, J., Cooper, L. N. & Schrieffer, J. R. *Phys. Rev.* **106,** 162–164 (1957).
3. Bednorz, J. G. & Müller, K. A. *Z. Phys. B* **64,** 189–193 (1986).
4. Keimer, B., Kivelson, S. A., Norman, M. R., Uchida, S. & Zaanen, J. *Nature* **518,** 179–186 (2015).
5. Božović, I., He, X., Wu, J. & Bollinger, A. T. *Nature* **536,** 309–311 (2016).
6. Zaanen, J. *Science* **315,** 1372–1373 (2007).
7. Mott, N. F. *Proc. Phys. Soc. A* **62,** 416–422 (1949).
8. Vignolle, B. *et al. Nature* **455,** 952–955 (2008).
9. Chatterjee, U. *et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA* **108,** 9346–9349 (2011).
10. Leggett, A. J. *J. Stat. Phys.* **93,** 927–941 (1998).
11. Uemura, Y. J. *et al. Phys. Rev. Lett.* **62,** 2317–2320 (1989).

ملخصات الأبحاث



غلاف عدد 11 أغسطس 2016

طالع نصوص الأبحاث في عدد 11 أغسطس من دَوْرِيّة "*Nature*" الدولية.

أحياء مجهرية

ارتباط SAR11 بنقص أكسجين المحيطات

تشكِّل بكتيريا "SAR11 كلاد" نصفَ مجموع الخلايا الميكروبية في المحيطات الغنيّة بالأكسجين. كما تنتشر في المناطق ذات القدر الأدنى من الأكسجين "OMZs"، حيث يصير الأكسجين أقلّ من أنْ يمكن كَشْفه. وتلعب الميكروبات غير الهوائية أدوارًا حيوية في تحويل النيتروجين المتاح حيويًّا إلى غاز النيتروجين. ولم تُلاحَظ بَعد في بكتيريا SAR11 أي عملية أيضٍ غير هوائي، وما تزال مجهولة كيفية إسهام هذه البكتيريا في التدوير البيوجيوكيميائيّ للمناطق ذات القدر الأدنى من الأكسجين. كشف التحليل الجينوميّ لخلايا منفردة من أكبر المناطق ذات الحد الأدنى من الأكسجين في العالم سلالاتٍ جينية غير مميّزة من بكتيريا SAR11، متكيّفة على العيش بدون أكسجين، من ضمنها جينات لإنزيمات مختزلة النيترات التنفسية (Nar). وأكّد الباحثون تجريبيًّا تشفير جينات *nar* SAR11 لبروتينات تحفِّز الخطوة الأولى من نزع النيتروجين، المنتِجة للنيتريت، وشكّلت حوالي 40% من عمليات نسخ *nar* OMZ، مع وصول النسخ إلى أعلى مستوى في المنطقة الخالية من الأكسجين، ذات أعلى نشاط لاختزال النترات. تربط هذه النتائج بين بكتيريا SAR11، ومسارات فقدان النيتروجين المحيطيّ، مما يعيد تعريف البيئة الخاصة للمجموعة العضوية الأكثر انتشارًا على كوكب الأرض.

D Tsementzi *et al*

doi: 10.1038/nature19068

فيزياء

مولِّدات طاقة من كبريتيد الموليبدِينَم

تُعتبر الاستفادة من فرق الضغط الأسموزي بين المياه العذبة ومياه البحر وسيلة جذابة ومتجددة ونظيفة لتوليد الطاقة، وتُعرف باسم "الطاقة الزرقاء". ويُطلق على ظاهرة حركية كهربية أخرى مسمى "جهد التدفق"، وهو ما يحدث عندما يندفع "كهرل" ـ محلول كهربي ـ خلال مسام ضيقة، إما عن طريق الضغط التدرُّجي، أو الضغط الأسموزي الناتج من تركيز الملح التدرُّجي. ولتنفيذ هذه العملية، مِن المتوقَّع أن تكون الأغشية المصنوعة من المواد ثنائية الأبعاد هي الأكثر كفاءة، لأن انتقال الماء عبر الأغشية يتدرج عكسيًّا مع سُمك الغشاء. ويستعرض الباحثون استخدام طبقة واحدة من كبريتيد الموليبدِينَم (MoS_2) نانوية المسام كمولِّدات طاقة أسموزية نانوية، وقد لاحظوا وجود تيار إسموزي مستحث كبير، نتج بفعل تدرُّج الملح بكثافة طاقة تصل إلى مليون واط لكل متر مربع، وهو تيار يمكن أن يُعزى أساسًا إلى ذلك الغشاء الرقيق الذري لكبريتيد الموليبدِينَم. ويمكن توفير متطلبات الطاقة المنخفضة للأجهزة النانوية الإلكترونية والبصرية عن طريق مولدات طاقة نانوية مجاورة تحصد الطاقة من البيئة المحلية، منها ـ على سبيل المثال ـ مجموعة من أسلاك أكسيد الزنك الكهروضغطية النانوية، أو طبقة واحدة من كبريتيد الموليبدِينَم. وقد استخدم الباحثون مولِّدًا لكبريتيد الموليبدِينَم نانوي المسام؛ لتشغيل ترانزستور، مقدِّمين بذلك نظامًا نانويًّا ذاتي التشغيل.

J Feng *et al*

doi: 10.1038/nature18593

فلك

تسخين الطبقات العليا لمناخ المشتري

تُقَدَّر درجات حرارة طبقات الجوّ العليا للكوكب العملاق عند خطوط العرض المتوسطة وحتى المنخفضة بأنها أعلى مما يمكن تفسيره بواسطة المحاكاة المبنية على التسخين الشمسيّ وحده. ولم تتمكن دراسات النمذجة التي تركِّز على المصادر الإضافية للتسخين من حلّ هذا التناقض الكبير. كان المتوقَّع من نقل الحرارة تجاه خط الاستواء من المناطق الشَّفقيّة الحارّة أن يرفع من درجة حرارة خطوط العرض المنخفضة، إلا أن النماذج أظهرت أن الطاقة الشفقيّة حبيسة عند خطوط العرض المرتفعة، نتيجةً لـ "قُوَى كوريولس" ذات التأثير على الكواكب سريعة الدوران. يمثل التسخين الموجيّ المدفوع من الأسفل مصدرًا محتمَلًا آخر لإحماء طبقات الجوّ العليا، إلا أن الحسابات الأولية غير حاسمة في حالة المشتري، بسبب الافتقار ـ غالبًا ـ إلى القيود المتعلقة بالملاحظة على مُعامِلات الموجة. يسجِّل الباحثون أن طبقات الجوّ العليا فوق البقعة الحمراء العظيمة للمشتري ـ التي هي أكبر عاصفة في النظام الشمسيّ ـ أعلى حرارة بمئات الدرجات المئوية من أيّ مكان آخر على الكوكب. يَعتقِد الباحثون أن هذه البقعة الساخنة يجري إحماؤها من الأسفل بواسطة عمليّة المحو، وهذا الكشف هو بالتالي دليل قويّ على الاقتران بين الطبقات العليا والطبقات السفلى لجوّ المشتري، ربما بسبب الموجات الصوتيّة، أو موجات الجذب المنبعثة لأعلى.

J O'Donoghue *et al*

doi: 10.1038/nature18940

علم الأعصاب

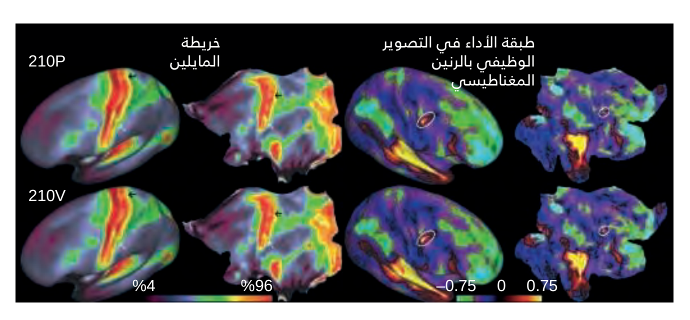
تقسيم متعدد الأنماط لقشرة المخ

يتطلب فَهْم قشرة المخ البشري مذهلة التعقيد خريطة ـ أو تقسيمًا ـ لمناطقها الفرعية الأساسية، التي تُعرف باسم "المناطق القشرية". وقد كان وضع خريطة مساحية دقيقة هدفًا للعلوم العصبية، ناهز عمره قرنًا من الزمن. وباستخدام صور الرنين المغناطيسي متعدد الأنماط من مشروع الكونيكتوم البشري (خريطة التشابكات العصبية) HCP، وأسلوب تشريحي عصبي موضوعي نصف آلي، استطاع الباحثون رسم حدود 180 منطقة في كل نصف كرة مخية، تحدّها تغيّرات حادة في البناء، والوظيفة، والتواصل، والطبوغرافيا في مجموعة مؤشرات مضبوطة بدقة لدى 210 بالغين أصحاء. كما وضعوا مواصفات 97 منطقة جديدة، و83 منطقة سبقت الإشارة إليها باستخدام الفحص المجهري التالي للموت، أو أساليب دراسية متخصصة نوعية أخرى. ولإتاحة التحديد والتعيين الأوتوماتيكي لهذه المناطق لدى المشاركين الجدد في مشروع الكونيكتوم البشري وفي الدراسات المستقبلية، عمد الباحثون إلى تدريب مصنِّف تعلُّم آلي، بحيث يتعرف على "البصمة" متعددة الأنماط لكل منطقة قشرية مخية. تمكّن هذا المصنِّف من تحرِّي وجود 96.6% من المناطق القشرية لدى المشاركين الجدد، واستنسخ تقسيمات المجموعة، وتمكّن بشكل صحيح من تحديد مناطق لدى الأفراد الذين لديهم تقسيمات غير نمطية. إن التوفر المجاني للتقسيمات والمصنِّف ستمكِّن من تحسين الدقة التشريحية العصبية بشكل كبير؛ من أجل دراسات التنظيم البنيوي والوظيفي للقشرة المخية البشرية وتنوعاتها عبر الأفراد، وفي حالات النمو، والتقدّم في العمر، والمرض.

M Glasser *et al*

doi: 10.1038/nature18933

الشكل أسفله | اتساق التفاصيل الحيّزية الدقيقة في مجموعة المؤشرات المستقلة.
خرائط المحتوى النسبي للميلين (نصف الكرة المخية الأيسر)، وخرائط التباين بيتا في التصوير الوظيفي بالرنين المغناطيسي من طبقة تباين اللغة (نصف الكرة المخية الأيمن) على مساحات مضخَّمة ومسطحة (العمودان 2، و4). الصفان 1، و2 هما مجموعة المؤشرات المستقاة من مجموعتي بيانات تقسيم 210 (210P)، والتحقق من 210 (210V)، على التوالي. تشير السهام البيضاء والسوداء إلى تنوع متسق في



محتوى الميلين ضمن القشرة الحسيّة الجسديّة الأولية ذات الصلة بالتموضع الجسدي. يشير الشكل البيضاوي الأبيض إلى مظاهر صغيرة قابلة للاستنساخ في نصف الكرة المخية الأيمن في طبقة تباين اللغة. والبيانات متوفرة في الرابط التالي: http://balsa.wustl.

فيزياء كمية

بوابة فوتون-فوتون في مرنان بصري

يمثل عدم تأثُّر تقاطُع فوتونين في الفضاء وسيلةً مثالية لنقل دقيق للمعلومات، ولكنه يحظر التفاعل بين الفوتونات، لكن تُعَدّ هذه الوسيلة ضرورية من أجل عدد كبير من التطبيقات في معالجة المعلومات الكمية البصرية. وقد كان التحدي طويل الأمد هو تحقيق بوابة فوتون-فوتون محددة، وهي عملية منطقية على الحالات الكمية للفوتونات، مسيطَر عليها بشكل متبادل. ويتطلب ذلك وجود تفاعل قوي جدًّا، بحيث يمكن لأي من الفوتونين أن يحوِّل طور الآخر بمقدار π زاوية نصف قطرية. في حالة استقطاب البتات الكمية، يرقى هذا إلى تقليب مشروط لاستقطاب أي من الفوتونين إلى حالة متعامدة. وحتى الآن، لم يتحقق ذلك، إلا في البوابات الاحتمالية المعتمدة على البصريات الخطية وكاشفات الفوتون، لأنه "لا توجد مادة معروفة أو متوقعة لها خصائص بصرية غير خطية قوية بما فيه الكفاية؛ لتحقيق هذا الانزياح الطوري المشروط". وفي الوقت نفسه، فتح التقدم الهائل في تطوير نُظُم الكَمّ غير الخطية آفاقًا جديدة في تجارب الفوتون- الأحادي، حيث تتراوح أنظمة المنصّات من مصائد ريدبيرج في مجموعات ذرية إلى الديناميكا الكهربائية الكمية لذَرَّة في تجويف. وقد تم الوصول إلى تطبيقات مثل مفاتيح فوتون أحادية، وترانزستورات، وبوابات ثنائية-الفوتون، وكاشفات فوتون غير إتلافية، وموجِّهات الفوتون، ومزيحات طَوْر غير خطية، ولكن لا تملك أيّ منها ناقل معلومات مثاليًّا (بتات كمية بصرية في أنماط يمكن وصفها). استخدم الباحثون الاقتران القوي بين الضوء-المادة، الذي توفره ذَرَّة واحدة في مرنان بصري عالي الجودة؛ لتحقيق بروتوكول دوان - كيمبل لبوابة فوتون-فوتون كمية ذات قلاب طَوْر عام متحكَّم فيه (π تحوُّل طوري). وقد حققوا دقة بوابة في متوسط (76.2 ± 3.6) في المائة، وأثبتوا على وجه التحديد القدرة على تقليب استقطاب مشروط، فضلًا عن توليد تشابك بين فوتونات المدخلات المستقلة. بوابة الفوتون–الفوتون الكمية هي عنصر شامل يعتمد على المنطق الكمي، وبالتالي يمكن أن تؤدي معظم العمليات ثنائية-الفوتون الحالية. وقد تسفر البروتوكولات التحديدية للمعالجة البصرية للمعلومات الكمية عن تطبيقات جديدة، حيث تكون الفوتونات ضرورية، خصوصًا في الاتصالات الكمية لمسافات طويلة، والحوسبة الكمية القياسية.

B Hacker *et al*

doi: 10.1038/nature18592

تطور

بزوغ أسرة جينية للإنسان العاقل

عادةً ما تَعَرَّف العلماء على الفروق الجينيّة، التي تحدِّد الجوانب الفريدة للتطور البشريّ، بواسطة التحليل المُقارِن بين جينومات البشر، وجينومات الرئيسات قريبة الصلة بالبشر، وانضمت إلى تلك الجينومات مؤخرًا جينومات أشباه البشر القدماء، لكن ليست كل مناطق الجينوم قابلة لمثل تلك الدراسة. يتسبب التباين المتكرر لعدد النسخ (CNV) عند الكروموسوم 16p11.2 في حوالي 1% من حالات التوحّد، وتتوسّط فيه مجموعة مركّبة من التضاعف القِطَعِيّ، نشأ العديد منها حديثًا خلال تطوّر الجنس البشريّ. يعيد الباحثون بناء التاريخ التطوّري للموضع الجينيّ لفرد عائلة (*BOLA2*)، وتعريفه كجين يتضاعف حصريًا في الإنسان العاقل. قدَّر الباحثون أن قِسمًا يحتوي على 95 ألف زوج قاعدة يحوي *BOLA2* قد تضاعف في كل المنطقة الحرجة قبل حوالي 282 ألف سنة، وهو أحد أحدث التغيرات الجينومية في سلسلةٍ أعادت بناء الموضع الجينيّ بشكلٍ هائل أثناء تطور القردة العليا. حَمَل جميع البشر ـ الذين تمت دراستهم ـ نسخة واحدة من التضاعف أو أكثر، استقرت تقريبًا في وقتٍ مبكر في سلالة الإنسان، وهو نمط لا يُرجَّح أنه قد نشأ بهذه السرعة في غياب الانتخاب ($P < 0.0097$). يكشف الباحثون عن أن تضاعُف *BOLA2* قد أدَّى إلى نسخ التحام داخل إطاريّ جديد خاصّ بالإنسان، وأن تباين عدد نسخ *BOLA2* يرتبط بكلٍ من التعبير عن حمض الريبونيوكليك RNA ($r = 0.36$)، ومستوى البروتين ($r = 0.65$)، وقد حدث أكبر اختلاف في التعبير بين الإنسان والشمبانزي في الخلايا الجذعية المشتقة اختباريًا. أظهر تحليل 152 مريضًا يحملون إعادة ترتيب للكروموسوم 16p11.2 أن أكثر من 96% من نقاط القطع قد حدثت في التضاعف الخاص بالإنسان العاقل. باختصار، فإن التغيّر التضاعفيّ لموقع *BOLA2* في جذر سلالة الإنسان العاقل قبل حوالي 282 ألف سنة قد زاد في الوقت نفسه من عدد نسخ جين مرتبط بتعادل الحديد، وجعلت جنسنا عرضةً لإعادة التركيب المتكررة المرتبطة بالإصابة بالأمراض.

X Nuttle *et al*

doi: 10.1038/nature19075



غلاف عدد 18 أغسطس 2016
طالع نصوص الأبحاث في عدد 18 أغسطس من دَوْرِيّة "*Nature*" الدولية.

علم الأورام

الديناميات النّسيليّة المُحْدِثة للأورام

لا تزال التغيرات في ديناميات الخلية بعد تطفّرها المُسَرْطِن ـ الذي يؤدي إلى تطوّر الأورام ـ غير معروفة حتى يومنا هذا. وباستخدام بشرة الجلد كنموذج، قيَّم الباحثون أثر التأشير القنفذيّ المُسَرْطِن في تجمّعات الخلايا المتمايزة، وفي قدرتها على التسبب في سرطان الخلايا القاعدية، الذي هو أكثر أنواع السرطان شيوعًا في البشر. وجد الباحثون أن الخلايا الجذعية فقط ـ لا الخلايا السالفة ـ تبدأ تكوين الورم بناءً على التأشير القنفذي المسبِّب للسرطان. كان هذا الاختلاف بسبب التنظيم الهرمي لنمو الورم في الخلايا الجذعية التي يستهدفها الجين الوَرَمي، الذي يتميز بزيادة الانقسامات المُتناظِرة، وبازدياد المقاومَة المعتمِدة على بروتين p53 لموت الخلايا الفسيولوجي؛ مما يؤدي إلى التوسع النسيلي السريع؛ والتحول إلى أورام غازيّة. وكشَف البحث عن أن قدرة الخلايا التي يستهدفها الجين المُسَرْطِن على التسبب في تكوين الورم لا تعتمد فقط على بقائها وتوسُّعها طويل الأمد، وإنما أيضًا على الديناميات النسيليّة الخاصة بالخلية السرطانية الأصلية.

A Sánchez-Danés *et al*

doi: 10.1038/nature19069

علم الأعصاب

نموذج نمو عصبي لـ"متلازمة ويليامز"

متلازمة ويليامز Williams syndrome هي اضطراب وراثي المنشأ، يصيب النمو العصبي؛ ويتميّز المصاب به بقدرة استثنائية مفرطة على التفاعل الاجتماعي، وبمجموعة من القدرات اللغوية والإدراكية المقيَّدة والمنقوصة. ويفتقر أغلب المصابين بهذه المتلازمة إلى المجموعة نفسها من الجينات، التي تحمل نقاط قَطْع في الرابطة الكروموسومية 7q11.23. ولا يزال إسهام جينات معيّنة في التبادلات التشريحية العصبية والوظيفية ـ التي تؤدي إلى أمراض سلوكية في البشر ـ غير معروف بشكل كبير. درّس الباحثون الخلايا العصبية السالفة، والخلايا العصبية القشرية المشتقة من مرضى متلازمة ويليامز، التي عادةً ما تطوِّر الخلايا الجذعية المحفزة متعددة القدرات. وقد تبين أن الخلايا العصبية السالفة في مرضى "متلازمة ويليامز" تحتاج إلى ضعف الزمن في حالتي التكاثر، والموت الخلوي، مقارنةً بالخلايا العصبية السالفة طبيعية النموّ. وبمساعدة فرد مصاب بنوع شاذ من "متلازمة ويليامز"، حدَّد الباحثون جينًا واحدًا مرشَّحًا أن يكون السبب في الإصابة، وهو *FZD9*. في المرحلة العصبية، تميّزت الخلايا العصبية القشرية في الطبقة V/VI والمشتقّة من مرضى "متلازمة ويليامز" بامتلاكها زوائد عصبية أطول، وعددًا أكبر من الأشواك والتشابكات العصبية، وتذبذبات شاذة للكالسيوم، واتصالًا شبكيًّا مُعَدَّلًا. وقد تأكّدت صحة التغيّرات المورفومتريّة التي لوحظت في الخلايا العصبية المأخوذة من مرضى "متلازمة ويليامز"، بعد اصطباغ جهاز "جولجي" في الخلايا العصبية القشريّة في الطبقة V/VI بعد الوفاة. يملأ هذا النموذج من الخلايا الجذعية المُحفزة متعددة القدرات في الإنسان الفراغَ المعرفي الحالي في مجال البيولوجيا الخلوية لمتلازمة ويليامز، وقد يؤدي إلى رؤية أفضل للآليّة الجزيئية الكامنة وراء الإصابة، ووراء الذكاء الاجتماعي للإنسان.

T Chailangkarn *et al*

doi: 10.1038/nature19067

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

جيولوجيا

المجال المغناطيسي المبكِّر للأرض

تؤكِّد الملاحظات الأخيرة لدراسة المغناطيسية القديمة للصخور وجود مجال مغناطيسي للأرض منذ 3.45 مليار سنة. نشأ المجال المغناطيسي للأرض بفعل الطفو البنيويّ الناتج عن نمو اللُّبّ الداخلي، ولكن عُمْر لُب الأرض أصغر من أن يفسِّر وجود المجال المغناطيسي قبل حوالي مليار سنة. تشير النماذج النظرية إلى أن انفصال أكسيد الماغنسيوم ـ المكوِّن الرئيس لوشاح الأرض ـ عن اللُّب وَفَّرَ مصدرًا رئيسًا للطاقة اللازمة لنشأة المجال المغناطيسي، ولكن هناك نقص في الأدلة التجريبية على اندماج مكوِّنات الوشاح مع اللُّب. في الواقع، لقد تكوَّن اللُّب في مرحلة الأرض المنصهرة المبكرة، من خلال الفصل بالجاذبية بين صهيرين غير ممتزجين، أحدهما فلزيّ، والآخر من السيليكات؛ مما أدَّى إلى نقل العناصر المُحِبَّة للحديد من وشاح السيليكات إلى اللُّب الفلزي، وترك العناصر المُحِبَّة للصخور كما هي. يقدِّم جيمس بادرو وزملاؤه نتائج تجارب معملية تفيد بأن أكسيد الماغنسيوم يذوب في صهير الحديد المكوِّن للُبّ الأرض تحت درجات حرارة عالية جدًّا. وباستخدام نماذج تكوين اللُّب، يبين الباحثون أن الأحداث المتطرفة أثناء تكوُّن الأرض ـ مثل الارتطام الهائل لنيزك؛ الذي أدَّى إلى تكوُّن القمر ـ ربما تكون قد أضافت كميات كبيرة من الماغنسيوم إلى اللُّب المبكر. ومع انخفاض درجة حرارة اللُّب؛ حدث انفصال أكسيد الماغنسيوم؛ الذي ترسَّب عند الحد الفاصل بين اللب والوشاح؛ منتِجًا كمية كبيرة من طاقة الجاذبية بفعل الطفو البنيويّ. وكمية الطاقة هذه تكافئ ـ إن لم تكن تزيد على ـ كمية الطاقة المنتَجة من خلال نمو اللُّب الداخلي. ويقدِّم هذا حلًّا للُغْز وجود مجال مغناطيسي قديم قبل تكوُّن اللُّب الداخلي للأرض.

J Badro *et al*

doi: 10.1038/nature18594

وراثة

الاختلافات الوراثية المرمِّزة للبروتين

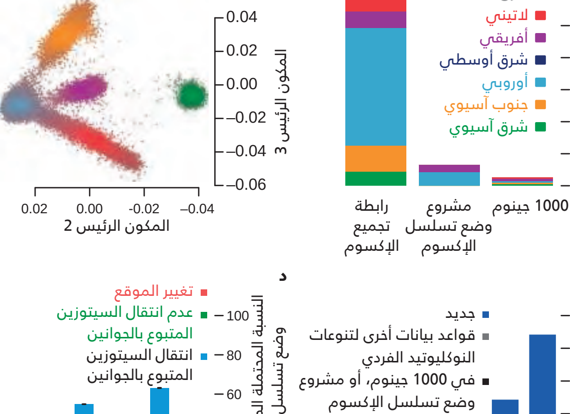
تُعتبر مجموعات البيانات المرجعية واسعة النطاق للاختلافات الوراثية البشرية أساسية من أجل التفسير الطبي والوظيفي لتغيرات تسلسل الحمض النووي. يستعرض الباحثون تجميع وتحليل بيانات تسلسل إكسوم (المنطقة المرمِّزة للبروتين) الحمض النووي، مستمدة من 60,706 أفراد من سلالات متنوعة، تم وضعها كجزء من مشروع "رابطة تجميع الإكسوم" ExAC. يحتوي هذا الفهرس للتنوعات الوراثية البشرية على ما معَّدله تنوع واحد بين كل ثماني قواعد إكسومية، ويقدّم دليلًا مباشرًا على الوجود واسع الانتشار لمعاودة حدوث الطفرات. استخدم الباحثون هذا الفهرس؛ لحساب القياسات الموضوعية لقدرة التسلسلات المختلفة على الإصابة بالأمراض، ولتحديد الجينات المعرَّضة لدرجة انتقائية قوية مقابل درجات متنوعة من الطفرة؛ محددين 3,230 جينًا تتميز بنضوب شبه كامل من التنوعات الباترة للبروتين، مع عدم ارتباط 72% من هذه الجينات بنمط مرضي بَشَري معروف في الوقت الحالي. وأخيرًا، يوضح الباحثون أن هذه البيانات يمكن استخدامها من أجل الترشيح المُجْدِي للتنوعات المحتمَل إحداثها للمرض، ومن أجل اكتشاف التنوعات البشرية "القاضية" في الجينات المرمِّزة للبروتين.

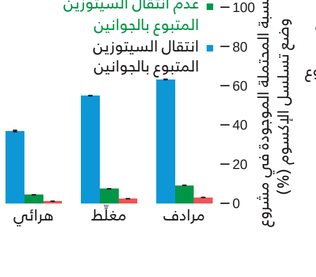
M Lek *et al*

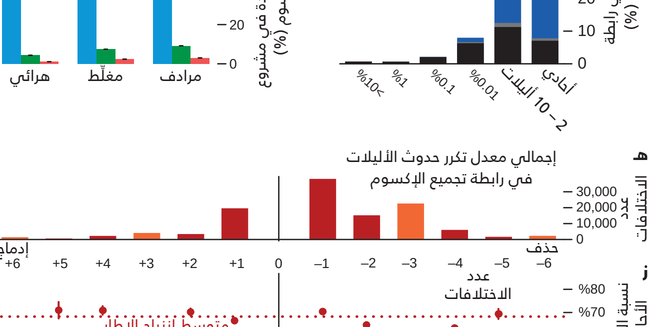
doi: 10.1038/nature19057

الشكل أسفله | نماذج الاختلافات الوراثية لدى 60,706 أشخاص.

أ. حجم وتنوع مجموعات بيانات الإكسوم المرجعية العامة. تتجاوز رابطة تجميع الإكسوم مجموعات البيانات السابقة من حيث الحجم من أجل كافة المجموعات التي خضعت للدراسة. **ب.** تحليل العنصر الرئيس (PCA) يقسّم أفراد رابطة تجميع الإكسوم إلى خمس مجموعات قاريّة. يظهر المكون الرئيس 2 والمكون الرئيس3. **ج.** إن طيف تكرار حدوث الأليل في رابطة تجميع الإكسوم يسلط الضوء على أن غالبية الاختلافات الوراثية نادرة وجديدة (غائبة عن قواعد البيانات السابقة للاختلافات الوراثية، مثل قاعدة بيانات تنوع النوكليوتيد الفردي dbSNP). **د.** نسبة الاختلافات الممكنة الملاحظة في المحتوى الطفري والمرتبة الوظيفية. تمكن ملاحظة أكثر من نصف جميع التحولات الممكنة للسيتوزين المتبوع بالجوانين (CpG). تمثل أعمدة الخطأ إطار الخطأ القياسي للمعدّل المتوسط. **هـ، ز.** الرقم (**هـ**)، وتكرار التوزع (نسبة الأحادي؛ **ز**) لحالات الإدماج / الحذف، من حيث الحجم. مقارنة بحالات الإدماج / الحذف ضمن الإطار، فإن اختلافات انزياح الإطار أقل شيوعًا (لديها نسبة أعلى من الأحاديات، وهذا مؤشر بديل للسميّة المتوقعة على الناتج الوراثي). وتشير أعمدة الخطأ إلى فواصل ثقة، قدرها 95%.







علم المواد

خلايا شمسية ذات كفاءة عالية

ظهرت مركبات البيروفسكايت العضوية وغير العضوية ثلاثية الأبعاد كإحدى مواد الخلايا الشمسية ذات الغشاء الرقيق الواعدة أكثر من غيرها، نظرًا إلى خواصها الضوئية والفيزيائية المميزة، حيث تتميز بكفاءة تحويل طاقة تزيد على 20%، وبإدخال مزيد من التحسينات تجاه حدّ "شوكلي-قيصر" في الخلايا الشمسية ذات الوصلة الأحادية، حيث قد تصل الكفاءة إلى 33.5%. وبالإضافة إلى الكفاءة، هناك عامل حاسِم آخر للخلايا الكهروضوئية وغيرها من التطبيقات الكهروضوئية، ألا وهو الاستقرار البيئي والضوئي تحت ظروف التشغيل. وقد أظهرت أطوار "رودليسدين–بوبر" ذات طبقات أغشية بيروفسكايت ثنائية الأبعاد استقرارًا واعدًا، ولكن بكفاءة ضعيفة (4.73% فقط). وتُعزى هذه الكفاءة الضعيفة نسبيًّا إلى تثبيط نقل الشحنة خارج المستوى من الكاتيونات العضوية، التي تعمل كطبقات عازلة تفصل بين الألواح الموصِّلة غير العضوية. واستطاع الباحثون التغلب على هذه المشكلة في طبقات البيروفسكايت بإنتاج أفلام رقيقة من نوعية قريبة من البلورات الأحادية، التي تميل فيها المستويات البلورية المكوِّنة من بيروفسكايت غير عضوي بشدة إلى المحاذاة خارج المستوى، مقارنةً بنقط الاتصال في الخلايا الشمسية المستوية؛ لتسهيل كفاءة نقل الشحنة. وقد توصَّل الباحثون إلى كفاءة كهروضوئية تصل إلى 12.52%، بدون تباطؤ، إضافة إلى ظهور تحسُّن كبير في استقرار الأجهزة، مقارنةً بنظائرها ثلاثية الأبعاد في اختبارات التعرض للضوء، والرطوبة، والحرارة الشديدة. تحتفظ أجهزة البيروفسكايت ثنائية الأبعاد غير المغلفة بأكثر من 60% من كفاءتها لأكثر من 2,250 ساعة تحت إضاءة مستمرة عيارية (AM1.5G)، مُظْهِرَةً مزيدًا من التحمُّل الذي يصل إلى 65% رطوبة نسبية، مقارنةً بمثيلاتها ثلاثية الأبعاد. وعندما يتم تغليف الأجهزة، لا تبدي الأجهزة الطبقية أيّ تدهور في ظروف الإضاءة AM1.5G المستمرة، أو الرطوبة. ويتوقع الباحثون أن تؤدي هذه النتائج إلى نمو صناعة أغشية رقيقة من البيروفسكايت أحادية البلورة، معالجة بالمحلول، طبقية، هجينة، والتي تُعَدّ ضرورية لأجهزة الإلكترونيات الضوئية عالية

الأداء بتكنولوجيا تعمل على استقرار عمل الجهاز على المدى الطويل.

H Tsai *et al*

doi: 10.1038/nature18306

كيمياء

مواقع معدنية في أنظمة غير متجانسة

يمكن لعملية التحفيز الفعالة لتحويل الميثان إلى الميثانول أن تكون ذات آثار اقتصادية بعيدة المدى. ويُعتبر الحديد الذي يحتوي على الزيوليت (ألومينوسيليكات معدنية ميكروية-المسام) من الاختيارات السديدة في هذا الصدد، بسبب قدرته المميزة على إضافة مجموعة هيدروكسيل للميثان بسرعة في درجة حرارة الغرفة؛ لتكوين الميثانول. وتحدث القابلية للتفاعل في مواقع نشطة خارج الشبكة، تُسمى α-Fe(ii)، يتم تفعيلها من خلال أكسيد النيتروز؛ لتكوين وسيط التفاعل α-O؛ ومع ذلك، وبالرغم ممّا يقرب من ثلاثة عقود من البحث، فإن طبيعة تلك المواقع النشطة والعوامل المحددة لتفاعلها الاستثنائي غير واضحة. وتكمن الصعوبة الرئيسة في أن عنصري التفاعل α-Fe(ii)، وα-O تشكِّلان تحديًا للتحقق الطيفي.. فتشابك البيانات في تقنيات معينة ـ مثل التحليل الطيفي بامتصاص الأشعة السينية، والقابلية المغناطيسية ـ تتعقد بسبب تأثيرات الحديد غير النشط. يوضح الباحثون أن طريقة التحليل الطيفي انتقائية-الموقع، التي تُستخدم بانتظام في الكيمياء الحيوية - غير العضوية، يمكنها التغلب على هذه المشكلة، حيث كَشَف التحليل ثنائي اللون الدائري المغناطيسي أن α-Fe(ii) يمثل مركّبًا وحيد النوى، عالي المغزلية، له سطح مربع، يتوسطه Fe (ii)، في حين أن المتفاعل الوسيط، α-O هو مركب وحيد النوى، عالي المغزلية، ويحتوي على Fe(iv)=O، ويستمد تفاعله الاستثنائي من التنسيق الهندسي الصارم المدعوم بشبيكة الزيوليت. وتوضح هذه النتائج قيمة النهج الذي استخدمه الباحثون في استكشاف المواقع الفعالة في الأنظمة غير المتجانسة. كما تشير النتائج إلى أن استخدام قوالب محددة لتفعيل المواقع المعدنية للعمل ـ منتجةً ما يُعرف بحالة التأهب في سياق الإنزيمات المعدنية ـ قد يكون وسيلة مفيدة لضبط نشاط المحفزات غير المتجانسة.

B Snyder *et al*

doi: 10.1038/nature19059

غلاف عدد 25 أغسطس 2016

طالع نصوص الأبحاث في عدد 25 أغسطس من دَوْرِيّة "*Nature*" الدولية.

أحياء مجهرية

الخريطة الفيروسية لكوكب الأرض

الفيروسات هي أكثر الكيانات البيولوجية انتشارًا على كوكب الأرض، إلا أن المصاعب المتعلقة بكشف الفيروسات غير المعروفة، وعَزْلها، وتصنيفها عرقلت إجراء استقصاءات مفصّلة للخريطة الفيروسية العالمية. حَلَّل الباحثون أكثر من 5 تيرابايات من بيانات التتابع الميتاجينومي من 3042 عيّنة متباينة جغرافيًّا؛ لتقييم التوزيع العالمي للفيروسات، وتباين النشوء العرقي، وخصوصية العائل فيها. واكتشف الباحثون أكثر من 125 ألف جينوم حمض نووي جزئي فيروسي، من ضمنها أكبر عائلة مكتشَفة حتى الآن، فازداد عدد الجينات الفيروسية المعروفة 16 ضِعفًا. جرى تجميع نصف الجينومات الفيروسية الجزئية المتوقَّعة في مجموعات متمايزة جينيًّا، تَضَمَّنت غالبيتها جينات غير مرتبطة بالجينات الموجودة في الفيروسات المعروفة. وباستخدام فواصل كريسبر CRISPR، وأزواج حمض نووي ريبوزي انتقالي لربط المجموعات الفيروسية بالعائل/العوائل الميكروبية، ضاعف الباحثون عدد الشُّعَب الميكروبية المعروف عنها قابلية الإصابة بالفيروسات، وتعرَّفوا على فيروسات يمكن أن تُعْدِيَ كائنات دقيقة تنتمي إلى شُعَبٍ مختلفة. وكَشَفَ تحليل التوزيع الفيروسي في مختلف الأنظمة البيئية عن خصوصية قوية للموطن البيئي في الغالبية العظمى من الفيروسات، إلا أنهم تعرّفوا أيضًا على بعض الأنواع المنتشرة في جميع أنحاء العالم. وتسلِّط النتائج التي توصَّل إليها الباحثون الضوء على تباين فيروسي عالمي واسع، وتقدِّم رؤية مفصلة للانتشار البيئي الفيروسي، وتفاعلات العائل-الفيروس.

D Paez-Espino *et al*

doi: 10.1038/nature19094

علم الأعصاب

ما يرتبط بمرض اعتلال الأعصاب

يؤدي اجتثاث بروتين برايون الخلوي PrPC إلى الإصابة باعتلال الأعصاب المتعدد المُزيل للميالين، الذي يؤثر على خلايا شوان، بينما يمنع التعبير عن PrPC المحدد بالخلايا العصبيّة الإصابة بالمرض، مما يشير إلى أن PrPC يعمل من خليّة مختلفة من خلال مستقبِل غير معروف على خلايا شوان. ويكشِف الباحثون عن نقص تركيز cAMP في الأعصاب الوركيّة في الفئران المفتقرة لبروتين PrPC، ما يشير إلى أنه يعمل من خلال مُسْتَقْبِل مقترن ببروتين جي (GPCR). يستثير الذيل الأميني النهائي المرِن (الرواسب 23-120) زيادة في cAMP معتمدة على التركيز في خلايا شوان الأوليّة، في سلالة خلايا شوان SW10 وفي خلايا HEK293T المفرطة في التعبير عن GPCR Adgrg6 (المعروف أيضًا باسم Gpr126). وعلى العكس، فإن خلايا HEK293T البدائيّة وخلايا HEK293T المعبِّرة عن عدة GPCR أخرى لم تتفاعل مع الذيل المَرِن، كما ألغى اجتثاث Gpr126 من خلايا SW10 استجابة cAMP التي يُحْدِثها الذيل المرن. يحتوي الذيل المرن على عنقود متعدد الأيونات الموجبة (KKRPKPG)، مشابه للمحفز GPRGKPG في الكولاجين من النوع الرابع في المُنافس Gpr126. وكان الببتيد المشتق من PrPC المحتوِي على KKRPKPG (FT_{23-50}) كافيًا لإحداث استجابة cAMP معتمدة على Gpr126 في الخلايا وفي الفئران، كما حَسَّن تكوين الميالين في سمكة الزرد (*Danio rerio*) ذات الطفرة الشالّة جزئيًّا في Gpr126. إنّ استبدال رواسب الأيونات الموجبة بالألانين يلغي النشاط البيولوجي لكلّ من (FT_{23-50}) وببتيد الكولاجين من النوع الرابع المُكافئ له. وتوصَّل الباحثون إلى أن PrPC يحسّن اتزان الميالين من خلال تصارع Gpr126 التي تَوَسَّط فيها الذيل المرن. وهذه الملاحظات ـ إضافة إلى توضيحها للدور الفسيولوجي لبروتين PrPC ـ ترتبط بنشوء مرض اعتلال الأعصاب المتعدد المُزيل للميالين، وهو من الأمراض المُوهِنَة الشائعة ذات الخيارات العلاجية المحدودة.

A Küffer *et al*

doi: 10.1038/nature19312

أحياء مجهرية

لقاح وقائيّ ضد فيروس "زيكا"

فيروس "زيكا" ZIKV هو فيروس مصغَّر، مسؤول عن انتشار الوباء الحالي في البرازيل والأمريكتين. ارتبط فيروس "زيكا" سببيًّا بصِغر حجم الرأس الجنيني، وتقييد النمو داخل الرحم، وعيوب أخرى تتعلق بعملية الولادة في كل من البشر والفئران. يُعَدّ التطويرُ السريع للقاح آمِن وفعال ضد فيروس "زيكا" أولويةً صحية عالمية، إلا أنه لا يُعرف الكثير عن آليات الوقاية المناعية ضد فيروس "زيكا". يكشِف الباحثون عن أن جرعة تحصين واحدة بلقاح حمض البلازميد النووي، أو بلقاح فيروس معطّل منقى، توفِّر للفئران القابلة للإصابة حمايةً كاملة ضد إحدى سلالات فيروس "زيكا" المتسبِّبة في الانتشار الوبائي في شمال شرق البرازيل. واتضح مؤخرًا أن هذه السلالة قادرة على عبور المشيمة؛ والتسبُّب في الإصابة بصِغَر حجم الرأس الجنيني، وتشوهات خِلْقيّة أخرى في الفئران. وقد أنتج الباحثون لقاحات حمض نوويّ تعبر عن الغشاء المبكر لـفيروس "زيكا" وغلافه (prM-Env)، إضافة إلى سلسلة من طفرات الحذف. يقدِّم لقاح prM-Env DNA وقاية كاملة ضد فيروس "زيكا"، كما يوضح غياب أي أثر ملحوظ للدم المصاب بالفيروس فيما بعد، والفعالية الوقائية المرتبطة بمعايير الأجسام المضادة للغلاف. وقد منح الانتقال المقتبس لـIgG المُنَقَّى من الفئران الملقَّحة مناعة سلبيّة، ولم يُبطِل استنفاد خلايا تِي الليمفاوية CD4 وCD8 في الفئران الملقَّحة هذه الوقاية. توضِّح هذه النتائج أنه يمكن التوصل إلى وقاية ضد فيروس "زيكا" من خلال وحدة فرعية تُستعمل مرة واحدة، ومن خلال لقاحات الفيروسات المعطّلة في الفئران، حيث تمثِّل معايير الأجسام المضادة للغلاف ارتباطات مناعية رئيسة في الوقاية. وتشير النتائج التي توصَّل إليها الباحثون إلى إمكانية تطوير لقاح للبشر ضد فيروس "زيكا".

R Larocca *et al*

doi: 10.1038/nature18952

فلك

كوكب شبيه بالأرض في مدار معتدل

على بُعد 1.295 فرسخًا فلكيًّا، يوجد النجم القزمي الأحمر "قنطور الأقرب"، أو "بروكسيما سنتوري"، (α

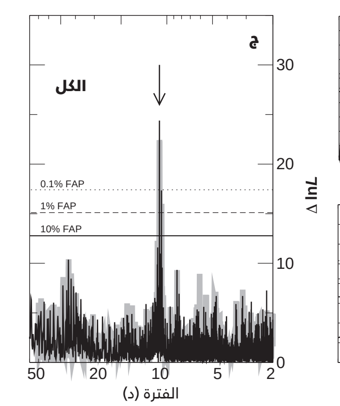
قنطور C، GL 551، HIP 70890، أو اختصارًا.. "بروكسيما")، وهو أقرب نجم للشمس، وأحد النجوم ذات الكتلة المنخفضة التي تمت دراستها بعناية، حيث يتميز بدرجة حرارة فعلية حول 3050 كِلْفِنًا، وتألق 0.15 في المائة، مقارنةً بالشمس، ومقياس نصف قطر يُقَدَّر بـ14 في المائة من نصف قطر الشمس، وكتلة تبلغ حوالي 12 في المائة من كتلة شمس. وعلى الرغم من أن نجم "بروكسيما" يُعتبر معتدل النشاط، إلا أن فترة دورانه تبلغ حوالي 83 يومًا، وتُعتبر مستويات نشاطه الهادئة ولمعان أشعته السينية قابلة للمقارنة بتلك الخاصة بالشمس. وأورَد الباحثون ملاحظاتهم التي تكشف عن وجود كوكب صغير له كتلة لا تقل عن 1.3 من كتلة الأرض، يدور حول نجم "بروكسيما" بفترة تبلغ حوالي 11 يومًا، و0.2 من اليوم، على مسافة تبلغ نصف محوره الرئيس، أي حوالي 0.05 وحدة فلكية. وتقع درجة حرارة توازنه الكوكبي ضمن نطاق يسمح للماء أن يُوجَد في صورة سائلة.

G Anglada-Escude *et al*

doi: 10.1038/nature19106

الشكل أسفله | استخلاص إشارة دوبلر في 11.2 د. أ، **ب**، مخططات تردد زمنية لاستخلاص إشارة 11.2 د في بيانات HARPS+ UVES ما قبل عام 2016 (**أ**) الحلل HARPS PRD (**ب**). **ج**، تم الحصول على مخططات التردد الزمنية بعد جمع كل مجموعات البيانات. تمثل الخطوط السوداء إحصاء ΔlnL، في حين تمثل الخطوط السميكة الرمادية لوغاريتم كثافة الخلفية البايزية (انظر النص.. إزاحة رأسية اختيارية، تم تطبيقها؛ للحصول على مقارنة بصرية للإحصائيتين). تمثل الخطوط الأفقية المتصلة (المتقطعة، والمنقطة) عتبات FAP للتحليل الترددي الاحصائي.

أ HARPS+UVES قبل 2016
ب HARPS PRD
Δ lnL
الفترة (د)



فيزياء كمية

تصحيح الخطأ الكَمِّيّ التقليدي بكفاءة

يمكن أن يتغلب بروتوكول تصحيح الخطأ الكمي (QEC) على الأخطاء التي تعاني منها البتات الكمية، وبالتالي فهو عنصر أساسي من عناصر جهاز الحاسوب الكَمِّي المستقبلي. ولتنفيذ هذا البروتوكول، يتم ترميز البتات الكمية بوفرة في فضاء بُعدي عال باستخدام حالات كمية ذات خصائص تناظر مصمَّمة بعناية. توفِّر قياسات هذه المتغيرات الظاهرة من النوع المتكافئ معلومات متلازمة للخطأ، يمكن بها تصحيح الأخطاء عبر عمليات بسيطة. وقد ظلت نقطة "التعادل" في بروتوكول تصحيح الخطأ الكَمِّي ـ التي يتخطى عندها عمر البتات الكمية عُمْر مكونات النظام ـ حتى الآن بعيدة المنال. وعلى الرغم من أن الأعمال السابقة قد أظهرت عناصر بروتوكول تصحيح الخطأ الكمي، فقد ركَّزت تلك الأعمال ـ في المقام الأول ـ على توضيح دلالات أو خصائص تدرج رموز بروتوكول تصحيح الخطأ الكمي، بدلًا من اختبار قدرة النظام على الحفاظ على البتات الكمية مع مرور الوقت.

يستعرض الباحثون نظام بروتوكول تصحيح الخطأ الكمي، الذي يمكنه أن يصل إلى نقطة التعادل عن طريق كبت الأخطاء الطبيعية، بسبب فقدان طاقة البتات الكمية المشفرة منطقيًّا في تراكب من حالات قطة شرودنجر لِمرنان فائق التوصيل. وتم تطبيق بروتوكول تصحيح الخطأ الكَمِّي باستخدام ردود الفعل الآنِّيّة للترميز، ورَصْد الأخطاء التي تحدث بشكل طبيعي، وفك الترميز وتصحيحه. وبإجراء قياسات تصوير مقطعي كامل، وبدون أيّ انتقاء لاحق، يكون عمر البِتّات الكمية المصوّبة 320 ميكروثانية، وهو أطول من عمر أي جزء من أجزاء النظام: 20 مرة أطول من عمر الترانسمون transmon، وحوالي 2.2 مرة أطول من عمر الترميز المنطقي غير المصوّب، وحوالي 1.1 أطول من عمر أفضل بتات كمية مادية ($|0>_f$، و $|1>_f$ حالات "فوك" للمرنان).

وتوضح نتائج البحث طرق الاستفادة من استخدام كفاءة الأجهزة في ترميز البِتّات الكمية، بدلًا من مخططات بروتوكول تصحيح الخطأ الكَمِّي التقليدية. وإضافة إلى ذلك، فإنها تدفع مجال تصحيح الخطأ التجريبي من تأكيد المفاهيم الأساسية إلى استكشاف المقاييس التي تقود أداء النظام، وكذلك تحديات الوصول إلى نظم تتجاوز الأخطاء.

N Ofek *et al*

doi: 10.1038/nature18949

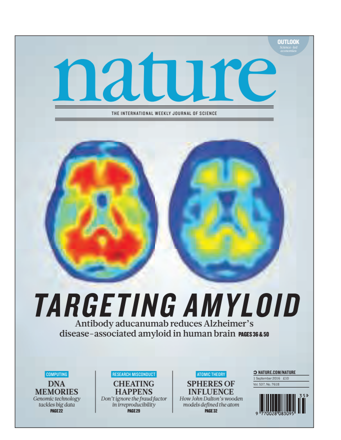
علم المناخ

بداية مبكرة لاحترار عصر الثورة الصناعية

يقدِّم تطوُّر احترار عصر الثورة الصناعية عبر المحيطات والقارات سياقًا للتغيرات المناخية المستقبلية. وتكمن أهميته في قدرته على تحديد حساسية المناخ، والعمليات التي تحكم الاحترار الإقليمي. استخدم الباحثون 1500 سِجِلّ للمناخ القديم، للكشف عن أن احترار عصر الثورة الصناعيّة المستديم في المحيطات الاستوائيّة قد تطوّر أولًا في منتصف القرن التاسع عشر، وتزامن تقريبًا مع الاحترار القارِّيّ في نصف الكرة الشمالي. تشير البداية المبكِّرة للاحترار الملحوظ والمستديم في سجلات المناخ القديم والمحاكاة النموذجية إلى أن قوى الدفيئة في احترار عصر الثورة الصناعيّة قد بدأت في منتصف القرن التاسع عشر تقريبًا، وتضمَّنت آليّة استجابة محسّنة للمحيطات الاستوائية. وظَهَرَ تطوُّر احترار نصف الكرة الجنوبي متأخرًا في إعادة التخطيط، إلا أن هذا التأخر الظاهري لا يَظهَر في المحاكاة المناخيّة. وتدلّ نتائج البحث على أن سجلات أدوات القياس قاصرة عن التقييم الشامل للتغيّرات المناخيّة الناشئة عن الأنشطة البشرية، وأنّ ـ في بعض المناطق ـ تسببت حوالي 180 سنة من احترار عصر الثورة الصناعة في ارتفاع درجات حرارة السطح فوق قِيَم درجات الحرارة في العصر قبل الصناعي، حتى مع أَخْذ التباين الطبيعي في الحسبان.

N Abram *et al*

doi: 10.1038/nature19082



غلاف عدد 1 سبتمبر 2016

طالع نصوص الأبحاث في عدد 1 سبتمبر من دَوْرِيّة "*Nature*" الدولية.

علم الأعصاب

السيروتونين يعزِّز الشعور بالخوف

السيروتونين ـ المعروف أيضًا باسم 5-هيدروكسي تريبتامين (5-HT) ـ هو ناقل عصبي يلعب دورًا جوهريًّا في تنظيم الانفعالات، غير أنه لم يتم بعد تحديد الدوائر العصبية التي ينظِّم السيروتونين من خلالها حدوث الحالات المنفِّرة. ويكشف الباحثون هنا أن السيروتونين الذي تفرزه نواة الرفاء الظهريّة (5-HT^{DRN}) يعزز الشعور بالخوف والقلق، وينشِّط تجمعًا ثانويًّا من عصبونات الهرمون المُطلق للكورتيكوتروبين(CRF) في النواة الأساسية للخط النهائي (CRF^{BNST}) في الفئران. وبالتحديد، يعمل إطلاق السيروتونين الذي تفرزه نواة الرفاء الظهرية إلى النواة الأساسية للخط النهائي - من خلال بعض الأنشطة عند مُسْتَقْبِلات السيروتونين 5-HT_{2C}Rs – على تشغيل دائرة دقيقة مثبِطة للهرمون المُطلق للكورتيكوتروبين في النواة الأساسية للخط النهائي، التي تعمل على إيقاف مخرجات النواة الأساسية للخط النهائي المضادة للقلق إلى المنطقة السقيفية البطنيّة، وتحت المهاد الجانبيّ. وإضافة إلى ذلك، كشف الباحثون أن تلك الدائرة المثبطة للهرمون المُطلق للكورتيكوتروبين في النواة الأساسية للسطر النهائي هي التي تقف وراء السلوكيات المنفِّرة التي تلي التعرض الحاد لمثبطات استرداد السيروتونين الانتقائيّة (SSRIs). ينتقل هذا التأثير المُنَفِّر المبكر من خلال مستقبِل الهرمون المُطلق للكورتيكوتروبين من النوع الأول (CRF_1R، والمعروف أيضًا بـ CRHR1)، نظرًا إلى أن مقاومة مستقبِل الهرمون المطلق للكورتيكوتروبين من النوع الأول كافية لمنع الزيادات الحادة التي تحفِّزها مثبطات استرداد السيروتونين الانتقائيّة. وتكشف هذه النتائج عن وجود

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

دائرة أساسية مسؤولة عن نقل السيروتونين ـ الذي تفرزه نواة الرفاء الظهريّة إلى الهرمون المُطلق للكورتيكوتروبين في النواة الأساسية للخط النهائي ـ تتحكم في مشاعر الخوف والقلق، وتقدّم تفسيرًا ميكانيكيًّا محتملًا للملاحظات الإكلينيكية للآثار العكسية المبكرة للعلاج بمثبطات استرداد السيروتونين الانتقائية في بعض المرضى الذين يعانون من اضطرابات القلق.

C Marcinkiewcz *et al*

doi: 10.1038/nature19318

فيزياء كمية

نقل الطاقة في نظام بصري-ميكانيكي

يمكن للعمليات الطوبولوجية أن تحقق أهدافًا معينة، دون أن تتطلب تحكُّمًا دقيقًا في التفاصيل التشغيلية المحلية؛ فعلى سبيل المثال، تم استخدامها للتحكم في مراحل هندسية، كما اقتُرِح استخدامها كوسيلة للتحكم في حالة أنظمة معينة داخل فضاءاتها الجزئية المتشعبة. وفي الآونة الأخيرة، أصبح من المتوقع إمكانية استخدام العمليات الطوبولوجية لنقل الطاقة بين الأنماط العادية، شريطة أن يمتلك النظام نوعًا محددًا من التشعُّب، يُعرَف باسم "النقطة الاستثنائية". ويَستعرض هذا البحث نقل الطاقة بين نمطين اهتزازيين لجهاز بصري-ميكانيكي عالي التبريد، وذلك باستخدام عمليات طوبولوجية. ويوضح كذلك أن هذا النقل ينشأ عن وجود نقطة استثنائية في طيف الجهاز، وأن هذا النقل غير تبادلي. إنّ هذه النتائج تفتح آفاق اتجاهات جديدة في التحكم في الأنظمة، كما أنها تتيح إمكانية استكشاف الآثار الديناميكية الأخرى المرتبطة بالنقاط الاستثنائية، بما في ذلك سلوك التذبذبات الحرارية والكَمِّيَّة في المناطق المجاورة لها.

H Xu *et al*

doi: 10.1038/nature18604

علم الأعصاب

تطوير الـ"أدوكانماب" لعلاج الألزهايمر

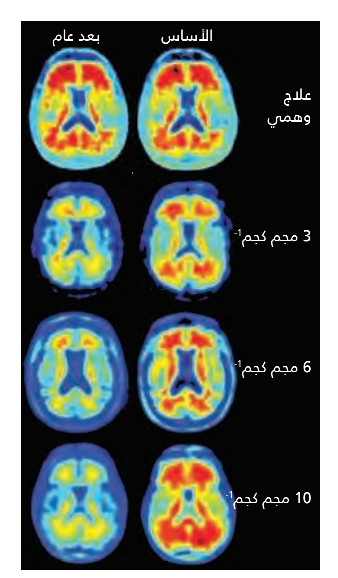
يتصف مرض الألزهايمر بترسيب لويحات أمايلويد-بيتا (Aβ)، وتشابك ليفي عصبي في المخ، مصحوب باختلال وظيفي مشبكي، وتلف عصبي. وحتى الآن، لم يثبت نجاح العلاج المناعي بالأجسام المضادة ضد أمايلويد-بيتا، بغرض استثارة تصفيته، أو تخفيف سُمِّيَّته العصبيّة.

وسَجَّلَ الباحثون تَوَلُّد "أدوكانماب" aducanumab، وهو جسم مضاد بشري وحيد النسيلة، يستهدف انتقائيًّا أمايلويد-بيتا المتكدس. وفي نموذج جيني لفئران مصابة بالألزهايمر، اتضح أن أدوكانماب يدخل المخّ؛ فيرتبط بأمايلويد-بيتا المَثْنِي، ويقلل نوعيّ أمايلويد بيتا القابل للذوبان، وغير القابل للذوبان بسلوك مرتبط بالجرعة. وفي المرضى المصابين بالألزهايمر من النمط المعتدل، تَمَكَّن العلاج بالتسريب الوريدي لـ"أدوكانماب" شهريًّا لمدة عام من تقليل أمايلويد بيتا في المخّ بسلوك مرتبط بالجرعة وبالوقت، وقد صاحب هذا تباطؤ في التدهور الإكلينيكي، كما يقيسه نظام تقييم الخَرَف الإكلينيك، وهو مجموع اختباريّ "بوكسيز" Boxes، واختبار الحالة العقلية المصغر Mini Mental State Examination. وقد كانت النتائج الأساسية لاختبارات الأمان والتحمُّل مرتبطة بشذوذ في التصوير المرتبط بالأمايلويد. وتفسِّر هذه النتائج التطوير الإضافي لأدوكانماب لعلاج مرض الألزهايمر. وإذا تأكّد تباطؤ التدهور الإكلينيكي في المرحلة الثالثة الجارية حاليًّا؛ فسوف يقدّم أدوكانماب دعمًا حاسمًا لفرضية الأميلويد.

J S evigny *et al*

doi: 10.1038/nature19323

الشكل أسفله | تقليل لويحات الأمايلويد باستخدام أدوكانوماب: صور PET أمثلة للأمايلويد عند خط الأساس وعند الأسبوع 52. اختير الأفراد بناء على الانطباع البصري وتغيّرات SUVR بالنسبة للاستجابة على مدى سنة واحدة في كلّ مجموعة علاج (عدد 40، 32، 30 و32 بالترتيب). يظهر القطاع المحوريّ مناطق تشريحيّة في المخّ الخلفيّ، اشتهرت بارتباطها بالإصابة بمرض الألزهايمر. الصور مأخوذة بتقنية SUVR (النسبة القياسيّة لقيمة الامتصاص).



فيزياء

إزالة خامات باستخدام نبضات الليزر

يتيح استخدام نبضات الليزر بالفيمتوثانية الإزالةَ الدقيقة ـ بدون تلفٍ حراري ـ للخامات في مجموعة واسعة من التطبيقات العلمية والطبية والصناعية، إلا أن القدرة المحتملة لها محدودة ببطء سرعات إزالة الخامة، وبدرجة تعقيد تقنية الليزر المستخدَمة. ويرجع تعقيد تصميم الليزر إلى الحاجة إلى التغلب على البداية المرتفعة لطاقة النبضات؛ لإنجاز العملية بكفاءة، إلا أن استخدام أشعة ليزر أقوى، لزيادة معدّل إزالة الخامات، يؤدي إلى نتائج غير مرغوبة، مثل الحَجْب الواقي، والتشبّع، والأضرار الجانبية الناتجة عن تراكم الحرارة عند القوى الليزريّة الأعلى. وقد تحايَل الباحثون على هذه العقبات باستغلال التبريد فيما يشبه تقنية تُستخدم دوريًّا في هندسة الفضاء، حيث استخدم الباحثون دفقات فائقة السرعة من نبضات الليزر؛ لإزالة الخامة المستهدفة، قبل أن تتشتَّت الحرارة المتبقية من النبضات السابقة بعيدًا عن مكان المعالَجة. وقد كشفت التجارب التي أُجريت على ركائز متنوّعة أن معدلات التكرار العالية التي تتيح التبريد تقلِّل طاقات نبضات الليزر المطلوبة، وتزيد كفاءة عملية الإزالة بمقدار يفوق معامِلات الليزر السابق استخدامها. كما عرض الباحثون إزالة أنسجة المخ بمعدل ملِّيمترين مكعّبين للدقيقة، وإزالة عاج الأسنان بمعدل 3 ملِّيمترات مكعبة للدقيقة، دون التسبُّب في أي تَلَف حراري.

C Kerse *et al*

doi: 10.1038/nature18619

فلك

طيف انتقال مشترك لكواكب "ترابيست-1"

في الآونة الأخيرة، تم اكتشاف ثلاثة كواكب خارج المجموعة الشمسية بحجم الأرض بالقرب من المنطقة الصالحة للحياة لأقرب نجم قزمي بارد جدًّا يُسمى "ترابيست-1". لم يتم بعد تحديد طبيعة تلك الكواكب، حيث لم تخضع كُتَلها بعد للقياس، ولا تُوجَد أي معلومات رصدية محددة متاحة لعدد الكواكب المحيطة بالأقزام النجمية الباردة جدًّا، فكواكب "ترابيست-1" هي أول مثال يمر أمامنا. تمتد التنبؤات النظرية لتشمل كامل نطاق الأغلفة الجوية، من الأجواء المستنفَدة إلى الممتدة، التي يهيمن عليها الهيدروجين. ويورد الباحثون ملاحظات رصدية لأطياف الانتقال المشترك لكوكبين داخلين خلال عبورهما المتزامن في 4 مايو 2016، ولكن نقص التفاصيل في أرصاد الطيف المشترك يستبعد أجواء خالية من سُحُب ـ أغلبها هيدروجين ـ لكل كوكب عند مستويات ≥10σ ؛ وبالتالي من غير المرجح أن يكون لكوكبَي ترابيست-1 (ب)، و(ج) غلاف غازي ممتد، لأنهما يحتلّان منطقة مُعَلَّمة من الفضاء، يكون فيها تشكيل السحاب/الضباب على ارتفاعات عالية غير متوقع بشكل كبير في أجواء يهيمن عليها الهيدروجين. وما زالت هناك أجواء عديدة أكثر كثافة، متسقة مع طيف الانتقال قليل التفاصيل من أجواء خالية من سُحُب بخار الماء، إلى أجواء تشبه كوكب الزهرة.

J de Wit *et al*

doi: 10.1038/nature18641

فيزياء

تطويق نقطة استثنائية ديناميكيًّا

تمتلك الأنظمة الفيزيائية ذات الفقد أو الكسب أنماطًا رنّانة، تضمحل أو تنمو باطراد مع الزمن. وكلما اندمج نمطان، سواء في ترددهما الرنان، أم معدَّل اضمحلالهما، أم نموهما؛ تبرز "نقطة استثنائية"، مما يؤدي إلى ظواهر رائعة تتحدَّى حَدْسنا المادي. وبشكل خاص، من المتوقع ظهور سلوك مثير للاهتمام عند تطويق نقطة استثنائية ببطء بما فيه الكفاية، مثل حالة التقلُّب أو تراكم طور هندسي. فقد تم بحث البنية الطوبولوجية للنقاط الاستثنائية تجريبيًّا، ولكن التطويق الديناميكي الكامل لمثل هذه النقاط ظل بعيدًا عن متناول القياس. وبرهن الباحثون على أن التطويق الديناميكي لنقطة استثنائية مماثل للتبعثر الموجي خلال دليل موجي ثنائي النمط ذي تصميم حديّ وفَقْد مناسبَين، كما قدموا نتائج تجريبية من دليل موجي مكافئ، يوجِّه الموجات الواردة حول نقطة استثنائية أثناء عملية الإرسال. وهكذا، يتم تحفيز تغيُّر الأنماط، التي تحوِّل هذا الجهاز إلى مفتاح قوي وغير متماثل بين أنماط الدليل الموجي المختلفة. وسوف يمكِّن هذا العمل من استكشاف فيزياء النقاط الاستثنائية في التحكم في النظم ومخططات تحوُّل ـ في مفترق الطرق ـ بين البحوث الأساسية، والتطبيقات العملية.

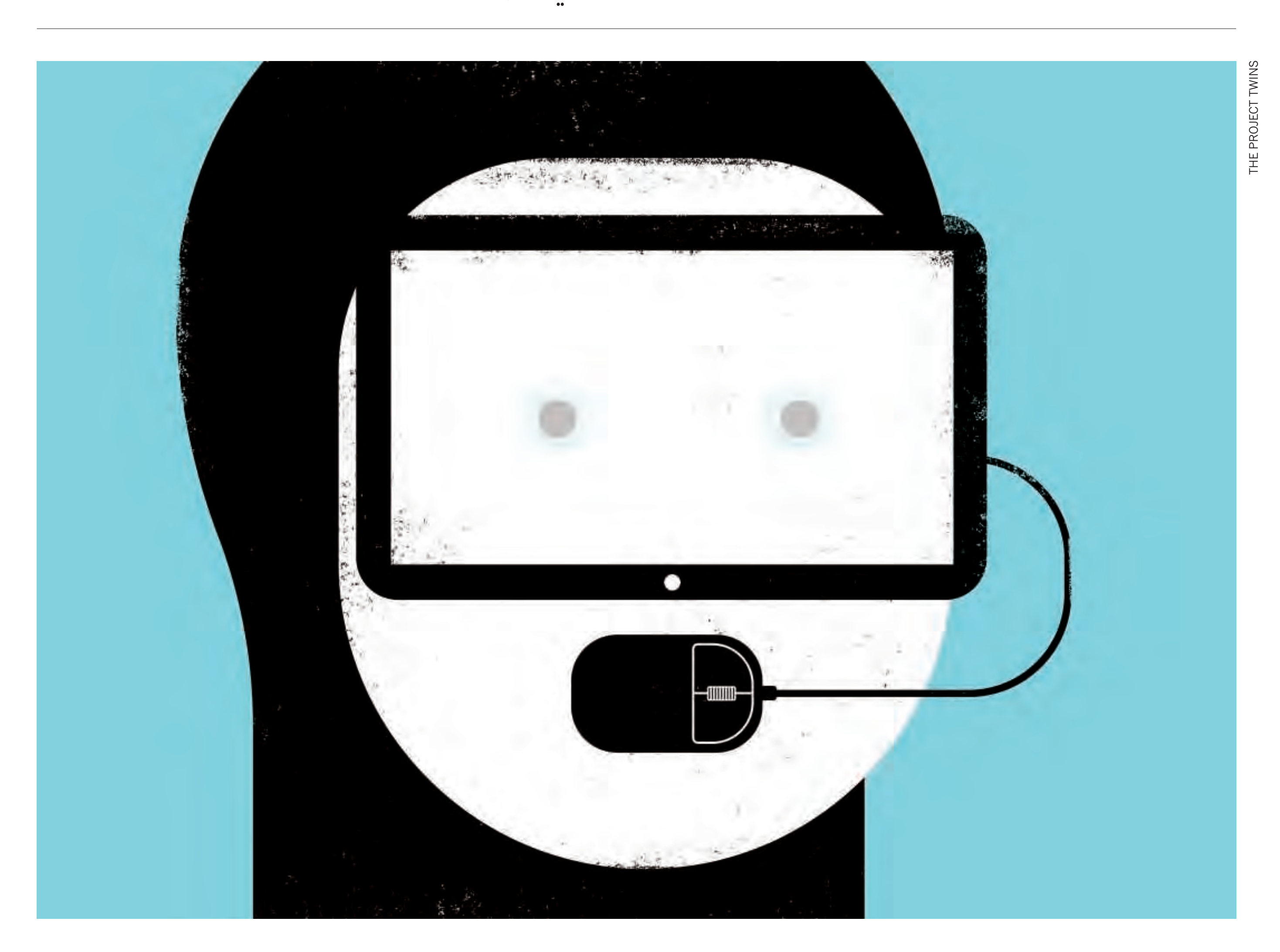
J Doppler *et al*

doi: 10.1038/nature18605

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

الحواسب تراقب الشعاب المرجانية

أدوات تحليل الصور الملتقَطة تحت المياه للشعاب المرجانية في مختلف أنحاء العالم تُحْدِث طفرة في علوم البيئة البحرية.



THE PROJECT TWINS

جيف توليفسون

ثمة قمم مدببة زرقاء اللون، تبرز في أحد جوانب الصورة، بينما تظهر رقعة من الأشكال الكثيفة ذات اللون الأرجواني المائل إلى الوردي في مكان آخر بها. وبالنسبة إلى العين غير المدرَّبة، يبدو كل جانب منهما مميزًا عن الآخر، وأنهما لشعاب مرجانية. يشير مانويل جونزاليس-ريفيرو إلى مجموعة ثالثة بالصورة، وهي تلك الأشكال المستديرة المنتفخة، التي تبدو كما لو كانت شعابًا مرجانية، بيد أن سطحها الرمادي الأملس يتعارض مع هذا الاستنتاج، ويقول: "إن النسيج واللون يشيران إلى أننا ـ على الأرجح ـ لا ننظر إلى إحدى الشعاب المرجانية، لكننا ننظر إلى طحالب مرجانية قشرية".

إنها صورة بانورامية عالية الدقة، التُقطت في إطار جهود مبادرة "إكس إل كاتلين سي فيو سيرفاي" XL Catlin Survey Seaview، وهي مبادرة علمية بدأت في فهرسة الشعاب المرجانية على مستوى العالم في عام 2012. ولفَهْم كيف تستجيب الشعاب المرجانية للعوامل البيئية المختلفة، مثل الصيد الجائر، والتلوث، والاحترار العالمي، وتَحَمُّض المحيطات، قام فريق مبادرة كاتلين ـ ومن بينهم العالِم البيئي جونزاليس-ريفيرو ـ بتوثيق مدى وفرة الشعاب المرجانية، وحالتها الصحية، بالإضافة إلى بِنْيَتها، وتنوُّعها الحيوي، من خلال ملايين اللقطات المأخوذة تحت المياه.

إنّ الأمر سيتطلب عقودًا لفحص كل تلك الصور يدويًّا، حتى وإنْ كانت عين جونزاليس-ريفيرو الخبيرة هي التي تتولى هذه العملية، بيد أن فريق كاتلين يستخدم خوارزمية شبكات عصبية، وهى إحدى أنظمة التعلم المتعمِّق، التي يتعلم فيها الحاسب كيفية تصنيف ما يراه في صور الشعاب المرجانية. تولَّى قيادة هذا المشروع عالِم الحاسب أوسكار بيدجبوم ـ من جامعة كاليفورنيا ببيركلي ـ ويمكن للبرنامج أن يُجْرِي فحصًا سريعًا لألبوم الصور العملاق الخاص ◄

◄ بمبادرة كاتلين ـ الذي يضم حاليًّا حوالي مليون صورة ـ في غضون عدة شهور فقط.

وهذا البرنامج ليس إلا مثالًا واحدًا على كيفية قيام الباحثين في مجال الشعاب المرجانية باستخدام التقدم في علوم الحاسب والبرمجيات؛ من أجل تسريع عمليات رسم خرائط الشعاب المرجانية تحت الماء في جميع أنحاء العالم. وجنبًا إلى جنب مع استخدام التصوير عالي الدقة، وأجهزة الاستشعار التي تجمع البيانات البيولوجية القياسية حول الشعاب المرجانية، يمكن لهذه الأدوات أن تطلِق العنان لعصر تتم فيه عمليات جمع البيانات والرصد بشكل شبه آلي، مما يعطي حرية أكبر لعلماء البيئة لقضاء وقت أقل في معالجة البيانات، وتخصيص وقت أكبر لإجراء الأبحاث.

يقول مارك إيكين، وهو مدير برنامج مراقبة الشعاب المرجانية لدى الإدارة الأمريكية الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي "NOAA" في كوليدج بارك في ميريلاند: "إنها خطوة هائلة إلى الأمام، فحين لا تكون مقيَّدًا بسرعة البشر في فحص ومعالجة الصور يدويًّا، عندها تصبح حصيلة المعلومات أكبر بكثير".

محيط من البيانات

جاء دخول علماء الشعاب المرجانية إلى عالَم البيانات العملاقة في الوقت المناسب تمامًا، فعلماء البيئة البحرية ـ الذين طالما حَدَّت أحجام زعانف الغوص وسِعَة خزانات الأكسجين من جهودهم ـ يسارعون من أجل توسعة نطاق عمليات المسح؛ بهدف توثيق وفهم الآثار طويلة المدى لارتفاع درجة حرارة مياه المحيطات وتَحَمُّضها. وقد زادت مخاوفهم بشدة بعد حادث ابيضاض الشعاب المرجانية حول العالم، الذي صاحب ظاهرة احترار "إلنينيو" 2015 ـ 2016 في المحيط الهادئ الاستوائي.

ويتمثل هدف جونزاليس-ريفيرو في تغطية أكبر قدر ممكن من المناطق؛ من أجل فهْم استجابة مختلف الحيود والشعاب المرجانية لتلك الضغوط. ويشير جونزاليس-ريفيرو إلى أن أجهزة الحاسب لن تحلّ محلّ العين البشرية أبدًا، كما أنها لن تلغي الحاجة إلى إجراء تحقيقات تفصيلية تحت المياه، بالإضافة إلى الأبحاث المعملية، ولكنْ بإمكانها تسريع عمليات المسح المبدئية. ويضيف: "ما نحاول فعله هنا هو التوصل إلى حل وسط، حيث نحصل على قدر كافٍ من المعلومات؛ من أجل فهْم الشعاب المرجانية، لكنْ بوتيرةٍ أسرع، وبطريقة أقل تكلفة بكثير".

ووفقًا لنتائج بيدجبوم، التي لم تُنشَر بعد، فإننا لن نضطر إلى التنازل عن جودة النتائج، حيث إن نظام التعلم المتعمق يتفق مع عين الإنسان في تحديد السمات الموجودة في صور الشعاب المرجانية بنسبة81%، وهي نسبة مثيرة للإعجاب بالنظر إلى أنّ من المرجح ألا يتفق اثنان من الخبراء على شيء واحد، سوى بنسبة 84%.

يخطط بيدجبوم إلى إطلاق الخوارزمية في غضون بضعة أشهر، بحيث تكون متاحة لأي شخص يقوم بإرسال صور على موقعه CoralNet، الذي يَستخدِم بالفعل أنظمة بمساعدة الحاسب؛ للمساعدة في التحليل الآلي للصور. وستكون هذه الخدمة مجانية، بفضل تمويل الإدارة الأمريكية الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي. وقد قام حوالي 420 مستخدِمًا من مختلف المؤسسات ـ بما في ذلك الإدارة الوطنية نفسها ـ بالفعل بتحميل حوالي 269 ألف صورة إلى الموقع. ويشير بيدجبوم إلى أن أفضل النتائج تأتي من استخدام برنامج شبه آلي، يُجْري فيه الحاسب عمليات تحليل بسيطة، ثم ينبِّه الخبراء إلى الحالات التي لا يكون فيها واثقًا من النتيجة.

يقول جونزاليس-ريفيرو إن العلوم البحرية بدأت تواكب علوم الأرض في جوانب عديدة، حيث تعمل منذ عقود على تطوير أدوات لجمع كميات هائلة من البيانات من الأقمار الصناعية والطائرات؛ ومعالجتها، ولكنْ لا يمكن تحويل تلك البرامج والأجهزة مباشرةً لتُستخدَم في تحليل البحار؛ حيث إن المحيطات تبتلع الضوء، ومن ثم يكون من الصعب دراسة أي شيء فيها سوى الشعاب المرجانية الضحلة من أعلى.

وقد دفع ذلك الباحثين في مجال الشعاب المرجانية إلى تعديل تلك الأدوات، بحيث تناسِب أغراضهم. فعلى سبيل المثال، قام عالِمَا الفيزياء الحيوية ديفيد كريمر، وأتسوكو كانازاوا ـ من جامعة ولاية متشيجان في إيست لانسينج ـ بتعديل جهاز استشعار محمول، كان مصمَّمًا ـ في الأساس ـ لاستخدامه في البحوث الزراعية.

وعند استخدام جهاز الاستشعار على الأرض، فإنه يقيس معلومات محدَّدة، مثل الظاهرة الفلورية في النباتات، والمحتوَى الكربوني في التربة، ودرجة الحرارة والرطوبة في الجو. وثمة حوالي 300 جهاز استشعار مستخدَم في 18 دولة حول العالم، وفي كل مرة يقوم باحث أو مسؤول حكومي بقراءة جهاز الاستشعار، تُحمَّل تلك البيانات إلى جهاز خادم مركزي؛ من أجل تحليلها.

أما الجهاز المُعَدَّل، الذي أُطلق عليه "كورالسبيكيو" CoralaspeQ، فيُطلِق أنواعًا مختلفة من الضوء على الشعاب المرجانية، ثم يسجل الإشارة الطيفية العائدة عند 256 طولًا موجيًّا، بداية من الأشعة فوق البنفسجية، وصولًا إلى الأشعة تحت الحمراء. ويمكن استخدام تلك البيانات لقياس أنشطة التمثيل الضوئي للشعاب المرجانية، عن طريق قياس ـ على سبيل المثال ـ الظاهرة الفلورية للكلوروفيل في الطحالب التكافلية، التي توفر لمضيفها من الشعاب المرجانية الأكسجينَ والمواد المغذية. يقول كريمر إن معرفة مقدار أنشطة التمثيل الضوئي التي تحدث، وأين تحدث، من شأنها أن تساعد الباحثين في التعرف على الأنظمة التي تتعرض للضغوط.

> «إننا بحاجة إلى جيش من الأشخاص؛ ليسجلوا قياسات عالية الجودة».

وتستخدم تلك الأجهزة مِجَسّات متاحة في الأسواق، يتم بناؤها بمساعدة الطابعات ثلاثية الأبعاد. ويأمل كريمر وكانازاوا أن يقلِّلا تكلفة الإصدار الذي يُستخدم تحت الماء من هذا الجهاز ـ التي تبلغ حاليًّا 500 دولار أمريكي ـ وجَعْل هذا الإصدار متاحًا لأكبر عدد ممكن من العلماء. يقول كريمر: "إننا بحاجة إلى جيش من الأشخاص؛ ليسجلوا قياسات عالية الجودة".

الرؤية بمساعدة الحاسب

طَوَّر عالِم الأحياء البحرية الدقيقة أرجون تشينيو نظامًا للتصوير تحت الماء؛ وذلك لجَمْع بيانات أكثر تفصيلًا عبر طيف إشعاعي أكبر. وبالتالي، يقوم علماء بيئة الشعاب المرجانية بوضع تعليقاتهم على الصور، وبعد ذلك يتم بث المعلومات إلى خوارزمية شبكة عصبية قائمة على أحد برامج التعلم الآلي مفتوحة المصدر، وهي مشابهة للخوارزمية التي طَوَّرها بيدجبوم. يقول تشينيو ـ الذي يعمل في معهد ماكس بلانك لعلم الأحياء البحرية الدقيقة في بريمن بألمانيا ـ إن نطاق الطيف شديد الاتساع الذي يغطيه الجهاز يعني أن بإمكانه التقاط معلومات أكثر بكثير من العين البشرية. وهذا يجعل من الأسهل التمييز بين الشعاب المرجانية التي تبدو متشابهة في الصور العادية. ويضيف تشينيو: "على سبيل المثال، نحسم الجدل القائم حول أنواع الشعاب المرجانية التي لم يتم التعرف عليها، ونصنفها ضمن الأنواع التصنيفية المناسبة التي تنتمي إليها، ونشمل كذلك في توقعاتنا الإسفنجيات، والطحالب كبيرة الحجم، والحشائش البحرية".

وقد قام آخرون بتعديل البرامج المتاحة في الأسواق، التي تُستخدم بالفعل في رسم خرائط المناطق الطبيعية، وتحليل الانهيارات الأرضية، عن طريق تداخل الصور ثنائية الأبعاد في النماذج ثلاثية الأبعاد. ويستخدم جون بيرنز ـ طالب الدكتوراة بمعهد الأحياء البحرية، التابع لجامعة هاواي في مانوا ـ برنامجًا يُطلق عليه "أجيسوفت فوتوسكان" Agisoft PhotoScan، تصل تكلفته إلى 549 دولارًا أمريكيًّا؛ للحصول على رخصة الإصدار الاحترافي؛ لاستخدامه في أغراض تعليمية. يقول بيرنز إن ثمة نسخة مجانية من البرنامج متاحة، ولكنها أقل تطورًا.

يمكن تحليل تلك النماذج ـ التي يمكن أن تصل دِقّتها إلى مليمتر واحد عند استخدامها مع كاميرا جيدة ـ من قِبَل أشخاص أو حواسب؛ من أجل التعرف على أنواع المرجان، وتحديد المساحة التي يُغطيها الحيد المرجاني. ونظرًا إلى أنها نماذج ثلاثية الأبعاد، فيمكن استخدامها أيضًا في تتبُّع التغيرات البنيوية، مثل ابيضاض الشعاب المرجانية، وتحلُّلها، بسبب ارتفاع درجة حرارة المحيطات. وبذلك.. صار لدينا نوع جديد من المعلومات البيئية.

ومن وجهة نظر بيرنز، يكمن جمال هذا الأسلوب في بساطته، حيث يمكن جمع البيانات بسرعة، وبأقل قدر من التدريب. ويقول: "هذا الأسلوب يتيح لك التقاط مئات الآلاف من الصور بكاميرا أحادية العدسة، ثم تجميعها بعد ذلك، وكأنك تقوم بحياكتها كلها معًا".

مخزون من البيانات القياسية

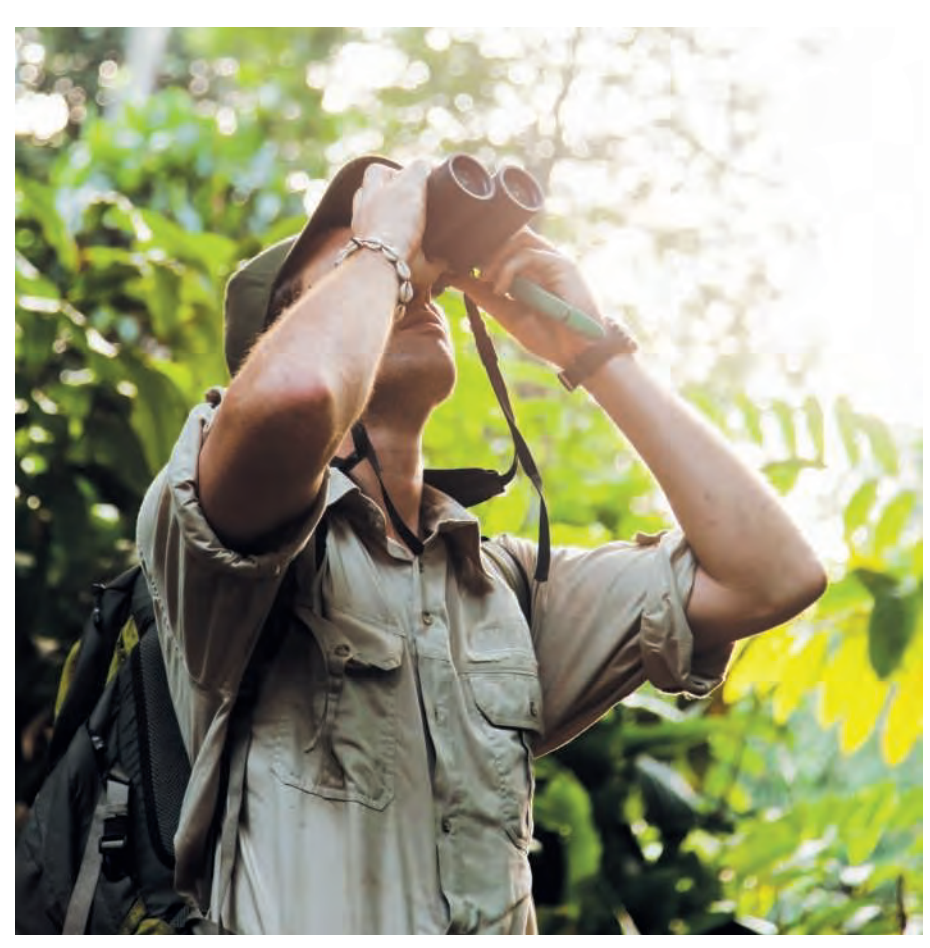
تقول إيميلي دارلينج ـ عالمة البيئة البحرية لدى جمعية حماية الحياة البرية في مدينة نيويورك ـ إن التكنولوجيا ليست هي الحل الوحيد لهذه المشكلة، فنظرًا إلى أن هناك جهودًا بحثية منفصلة للقيام بجمع كميات متزايدة من البيانات عن الشعاب المرجانية أكثر من أي وقت مضى، فمن الضروري القيام بجمع مجموعات قياسية من البيانات، وتخزينها في مستودع يمكن للمجتمع بأسره الوصول إليه.

وفي محاولة لجمع بيانات نظامية حول حدث الابيضاض العالمي، الذي وقع مؤخرًا، ابتكرت دارلينج وزملاؤها تقنية بسيطة للغاية، تتمثل في جدول بيانات على برنامج "إكسيل"، يمكن للعلماء في جميع أنحاء العالم استخدامه لتسجيل بيانات مختلفة عن حالة الشعاب المرجانية. وتتبدى قيمة وأهمية هذه التقنية في أنه بمجرد خروج العلماء من المياه، يمكنهم الحصول على البيانات وتحليلها على الفور. ولَدَى دارلينج الآن نتائج متسقة من أكثر من 61 ألف مستعمرة شعاب مرجانية في 13 دولة حول العالم. وقد أظهرت النتائج أن نسبة 58% منها تعرضت للابيضاض.

وأخيرًا، تقول دارلينج إن ما يحتاجه علماء بيئة الشعاب المرجانية هو الاتفاق على ما يمكن اعتباره مخزنًا مركزيًّا يحوي المجموعة الكاملة من المعلومات التي يجمعونها من مختلف أنحاء العالم. وتضيف: "إننا بحاجة إلى أماكن، تكون فيها البيانات متاحة، ويسهل الوصول إليها، وتوضِّح فيها البيانات موضوعات كاملة، بحيث يمكن للجميع الاطلاع عليها، ومعرفة ما إذا كانت مجهودات حماية الشعاب المرجانية تؤتي ثمارها، أم لا. إننا بحاجة إلى أن نتمكن من الإجابة على هذه الأسئلة بوتيرة أسرع كثيرًا". ■

تصحيح

في موضوع "مُرَوِّجو الأوراق البحثية" ـ المنشور بقسم (صندوق الأدوات) في عدد سبتمبر الماضي (*Nature* **536**, 113–114; 2016) ـ كان يتعين توضيح أن موقع Altmetric.com يقوم بجمع البيانات من كل من الاتجاهات السائدة، ووسائل التواصل الاجتماعي.



PHILIP LEE HARVEY/CULTURA RM EXCLUSIVE/GETTY

علم البيئة هو أحد المجالات التي تسعى إلى تطبيق منهج بحثي يقوم على فرضيات العمل المتعددة.

البروتوكولات البحثية

غابة من الفرضِيّات

إنّ إعجاب باحث بنظرية معينة قد يغلق طُرُقًا مثمرة للبحث؛ ولذا نقدِّم هنا سبلًا تمكِّنك من إبقاء عقلك متفتحًا.

جوليا روزين

الصخب الذي يملأ إحدى الغابات المطيرة في بنما يصمّ الآذان؛ فالحشرات لا تتوقف عن الصياح، والطيور تصدح بالغناء، والخفافيش تصرخ طوال الليل وسط أجوائه الرطبة؛ بينما تُطْلِق ذكور حشرة الجندب *Tettigoniidae* نداءات للتزاوج غير منتظمة وقصيرة ـ أقل من الثانية ـ لتفادى جذب الحيوانات المفترسة.

في وقتٍ ما، راودت باحثة ما بعد الدكتوراة لوريل سايمز ـ التي تدرس الإدراك الحسي وصُنْع القرار في كلية دارتموث في هانوفر بنيو هامبشاير ـ رغبة في فهْم كيفية عثور إناث حشرة الجندب على شريك للتزاوج. اعتقدت سايمز في البداية أن تلك المخلوقات لا بد أنها تمتلك حاسة سمع حساسة للغاية؛ بيد أنها حاولت التوفيق بين أفكار أخرى في الوقت نفسه، فربما تلتقي تلك الحشرات دائمًا على نوع معين من النباتات المضيفة، أو لها آليات عصبية تقوم بإلغاء الضوضاء الموجودة في الخلفية؛ أو لعلها تستخدم حيلة أخرى مختلفة تمامًا.

لم تكن هذه مجرد تأملات عارضة، فمجموعة الفرضيات التي وضعتها سايمز تمثل جزءًا لا يتجزأ من بحثها. يساعدها هذا النهج في الوصول إلى الإجابات، وتجنُّب التركيز على فكرة واحدة فقط؛ وهو اتجاه شائع في مجال العلوم، يمكن أن يؤدي إلى المشكلات. ويتضمن التاريخ أمثلة عديدة لعلماء تغافلوا عن أدلة مهمة، بسبب تشبُّثهم تشبثًا شديدًا للغاية بفرضيةٍ مالوا إليها. ومن بين الوسائل المستخدَمة لتجنب هذا المصير النظر في كثير من الفرضيات المحتمَلة في وقت واحد.

يقول أنصار منهج فرضيات العمل المتعددة إنه يمنع العلماءَ من تكوين «رؤية نَفَقِيَّة» tunnel vision، ويمكِّنهم من تقبُّل احتمال أن تكون فرضيات عديدة صحيحة في الوقت نفسه. وتتطلب ممارسة هذا النهج نوعًا من الانضباط، فعلى الباحثين القيام بعصف ذهني؛ للوصول إلى تفسيرات محتملة لإحدى الظواهر العلمية، قبل جمْع البيانات، أو تحليلها، وعليهم أيضًا استخدام أساليب معينة، مثل خلط ترتيب العينات، وجَعْل البيانات غامضة؛ للمساعدة في مواجهة المحاباة. كما يتطلب هذا النهج أن يَبقَى العلماء متفتحي الذهن أثناء عملية البحث برمّتها، وأن يقوموا باستمرار بتنقيح فرضيّاتهم.

تاريخ طويل

تم الإعلان[1] عن منهج فرضيات العمل المتعددة بشكل رسمي في عام 1890 بواسطة عالِم الجيولوجيا توماس كراودر تشامبرلين، الذي كان يشغل في تلك الفترة منصب رئيس جامعة ويسكونسن ماديسون. وبناءً على أفكار عالِم الجيولوجيا جروف كارل جيلبرت، حَذَّر تشامبرلين من أنه عندما يبتكر العلماء فكرة جديدة، فغالبًا ما تتولد لديهم عواطف تجاهها؛ مما قد يؤثر على قدرتهم على العمل بموضوعية. ورأى تشامبرلين أن الحلّ يتمثل في استحداث مجموعة من الفرضيات، ودراستها. فمِن خلال وضع بدائل ـ كما يقترح ـ لن يميل العلماء إلى تأييد فكرة واحدة بعينها.

ورغم أن الفكرة لاقت بعض الانتقادات، التي ركَّزت بشكل رئيس على استحالة إدراك جميع الاحتمالات، ناهيك عن اختبارها، فإن كثيرًا من العلماء يقولون إنها ترتبط ارتباطًا وثيقًا بعصرنا الحاضر. فالضغوط التي يتعرَّض لها الباحثون للنشر في الدوريات رفيعة المستوى، والفوز بالمنح، وبناء سمعة طيبة.. كل ذلك يمكن أن يشجعهم ـ بشكل واعٍ، أو غير واعٍ ـ على السعي للحصول على دعم للأفكار المفضلة لديهم. وقد وجدت دراسة أُرسلت إلى خادم نشر ما قبل الطباعة، المعروف باسم arXiv[2]، في شهر يونيو الماضي أنه عندما طرح المبرمجون أنواع الحوافز تلك في نموذج، خضعت المجموعات البحثية التي تمت محاكاتها لضغوط مطالبتها بإظهار الدعم للأفكار الجديدة بشكل معيب في كثير من الأحيان.

من جانبه، يَعتقِد عالِم البيئة باري بروك ـ من جامعة تسمانيا بأستراليا ـ أن إعادة إحياء أفكار تشامبرلين يمكن أن تكون أمرًا مفيدًا. ففي عام 2007، قام بروك بالمشاركة في تأليف ورقة بحثية عن ميزات استخدام منهج فرضيات العمل المتعددة لعلوم القرن ◄

◀ الواحد والعشرين[3]. وهو يرى أنه في حالات عديدة يثمر المنهج عن نتائج ثاقبة، أكثر من اختبار الفرضيات الصِّفرية، وهو الأمر الذي يكشف فقط عما إذا كان لعامل محدد تأثير ملحوظ، أم لا. وعلى النقيض من ذلك؛ قد يساعد تعدُّد الفرضيات العلماءَ في فهْم ما إذا كان ذلك التأثير مهمًّا، أم لا، واحتمال أن تكون هناك عدة عوامل تشترك في تَسَبُّبه.

وعلى سبيل المثال، أراد بروك أن يعرف لماذا كانت الثدييات صغيرة الحجم ـ من قبيل البندكوت بُنِّي اللون (*Isoodon macrourus*) ـ تختفي من متنزه كاكادو الوطني في شمال أستراليا. وكان علماء كثيرون قد أشاروا من قبل إلى الحيوانات المفترسة التي تم جلبها، مثل القطط، وقد بدا ذلك تفسيرًا مقبولًا. وعندما أخذ بروك في الاعتبار فرضيات أخرى، ونظر في البيانات السكانية التاريخية؛ وجد أن دور القطط في هذه المسألة لا يكاد يُذكر، وأن حرائق الغابات الشديدة كانت هي المسؤول الأكبر عن الأمر[4]. يقول: "ستندهش من قلة الدعم الذي تتلقاه غالبية الفرضيات التي أتقنت صياغتها".

قد يبدو من الأسهل التفكير في تفسير واحد محتمل فحسب، إلا أن تجاهُل النماذج الأخرى يمكن أن يمثل خطورة. يقول بروك: "الأمر ليس فقط في عدم النزاهة، بل سيقودك أيضًا إلى مسارات استدلالية سيئة".

مقاومة الإغراءات

إن وَضْع منهج تعدُّد الفرضيات موضع التنفيذ قد يكون بمثابة تحدٍّ صعب، إذ ينبغي على الباحثين مقاومة حماسهم الطبيعي تجاه أي فكرة مغرية. وتتمثل الخطوة الأولى في تخصيص وقت لصياغة فرضيات أخرى، قبل أن ينجذب المرء إلى واحدة بعينها. وإن لم يحدث ذلك، فإن تفضيل فرضية معينة قد يؤدي إلى انحراف عملية جمع البيانات، أو تحليلها عند انطلاق المرء نحو ميدان العمل، أو عند بدئه تجربة ما، أو حين يغوص في أعماق إحدى مجموعات البيانات. تقول كاثلين نيكول، عالمة الجغرافيا بجامعة يوتا في مدينة سولت ليك: "إذا كانت لديك فرضية معينة، أو كنت تبحث عن نمط ما، فإنك ـ في بعض الأحيان ـ قد لا تلحظ النمط الحقيقي الموجود فعلًا".

عند وضْع مجموعة من الفرضيات، قد يكون من المفيد التحلِّي بالصبر، واستشارة الزملاء في المختبر، وإدراج فرضية قد تبدو غريبة وغير معقولة. كان ويليام موريس ديفيز ـ عالِم الجيولوجيا المتقاعد من جامعة هارفارد في كمبردج بولاية ماساتشوستس ـ هو أول مَن ناصر هذه الفكرة في عام 1926، كوسيلة للفكاك من التفكير التقليدي. وتندرج منجزات علمية بارزة كثيرة تحت هذا النهج، بما فيها الزعم الذي خرج به ألفريد فيجنر في عام 1912، والذي كان بمثابة أمر مشين في ذلك الوقت؛ حيث أعلن أن القارات تتزحزح عبر سطح الأرض[5] (وهو ما يحدث بالفعل). وكذلك المقترح الذي اعتُبر نوعًا من الهرطقة، والذي طرحه عالِم الجيولوجيا جيه. هارلين بريتز في عام 1920، والذي بَيَّن من خلاله أن فيضانًا مدمرًا هو ما أنتج المَناظر الطبيعية الحافلة بالقنوات في واشنطن (في الواقع، اجتاحت تلك المنطقة فيضانات عنيفة كثيرة).

من جانبها، ترى سايمز أن استخدام منهج تعدُّد الفرضيات يأتي بأفضل النتائج، إذا أتى الباحثون بأفكار تعتمد على إجراءات مختلفة، وطرحوا تنبؤات واضحة. وتوضِّح في بحثها أن تفضيل حشرات الجندب لنبات مضيف بعينه ربما يؤدي إلى أن تحمل تلك المخلوقات الطعام نفسه في أحشائها، في حين أن استخدام الصوت قد يدلّ على أن الإناث منها في بنما لديها آذان أكثر حساسية عن الأنواع الأخرى التي تعيش في غابات تخلو من الخفافيش المفترسة. وبتحديد النتائج المحتملة، يمكن لسايمز تصميم تجاربها بطرق تساعد على تمييز تلك الأفكار. وتقول: "إذا كانت الفرضيات تتعارض مع بعضها، أو كانت كل منها تختلف في آلية عملها عن بقية الفرضيات؛ فإنك حينئذ سوف تتعلم شيئًا جديدًا".

ويُؤْخَذ نهج فرضيات العمل المتعددة في الاعتبار أثناء معالجة البيانات وتحليلها أيضًا، حين يتوجب على العلماء اتخاذ خطوات أخرى لحماية الموضوعية (انظر: «لا تأخذ بالأفضلية»).

ومن جانبها، ترى ليديا تاكيت ـ التي تدرس الحفريات البحرية بجامعة ولاية نورث داكوتا في فارجو ـ أن الحل بسيط، ويشبه تحليل العينات بدون ترتيب. فالعمل عبر تسلسل جيولوجي ـ وفقًا لترتيب زمني ـ قادها إلى التعرف مبكرًا على اتجاهات معينة، وتوقُّع ما سوف تجده في الطبقات التالية. تقول تاكيت: "أقوم حاليًا بجمْع العينات الكلية التي أحتاج إليها، وأرتِّبها بشكل عشوائي". وهي تقوم بوضع أكواد للعينات، حتى لا تعرف بالضبط من أيّ طبقة من الطبقات أُخذت كل عينة.

> «إذا تعارَضَتْ الفرضيات مع بعضها؛ فحينئذٍ سوف تتعلم شيئًا جديدًا».

ويعتمد باحثون آخرون على أدوات إحصائية.. فبدلًا من استخدام القيم الاحتمالية (*P* values) لرفض النماذج الفردية واحدًا تلو الآخر، يعتنق تريفور برانش ـ عالِم المزارع السمكية بجامعة واشنطن في سياتل ـ أسلوبًا لاختيار النماذج، يُسمى «معيار أكايكي للمعلومات» AIC. يحدد هذا المنهج الإحصائي أيّ مجموعة من النماذج تقدم أفضل شرح للبيانات التي تم جمعها بشأن نظام معقد في الغالب. ويقول برانش إنها طريقة حسابية لتنفيذ منهج فرضيات العمل المتعددة، الخاص بتشامبرلين.

يستخدم بروك «معيار أكايكي للمعلومات»، إضافة إلى «معيار بيز للمعلومات» المشابه له، الذي يفيد في التمييز بين بعض النماذج البسيطة. وحين تبدو نماذج عديدة صحيحة، عندها تساعد تلك الأساليب في تقدير أهميتها النسبية، بحيث يمكن استكشاف آثارها المجمعة من خلال ما يُسمى بـ"الاستدلال متعدد النماذج". ويتضمن ذلك دمج العديد من النماذج المختلفة، والنظر فيها جنبًا إلى جنب؛ لتفسير أكبر قدر ممكن من الأمور.

وغالبًا ما يتخذ علماء الفيزياء وعلماء الفلك تدابير مشددة؛ لمنع تحيُّز الباحثين في التحاليل أيضًا، فيعتمد صول بيرلموتر ـ عالم الفيزياء الفلكية بجامعة كاليفورنيا في بيركلي ـ على البرمجيات، أو على الزملاء؛ لإخفاء الإشارات والدلائل الموجودة في البيانات ـ التي ربما تكشف عن بعض الأمور ـ قبل أن يراها. ويُعرف هذا الأسلوب باسم التحليل الأعمى. وقد يتضمن ذلك إضافة أرقام وُضعت عشوائيًّا إلى قيم البيانات، أو تغيير تلك القيم بمقادير عشوائية، أو إخفاء المحاور في رسم بياني. إن الهدف من ذلك كله هو التأكد من ألّا يرى الباحثون أي شيء يمكنه توجيه أذهانهم نحو تفسير بعينه، كاتجاه أوّلي مثلًا، أو تلميح لاكتشاف معين.

وقبل إلغاء تعمية البيانات، يجب على العلماء في فريق بيرلموتر توزيع مذكرة، يشرحون فيها فرضياتهم، وكيف يخططون لاختبار تلك الفرضيات، والتمييز بينها. يقول بيرلموتر: "بإمكان الجميع أن يقرروا في وقت مبكر ما إذا كان الأمر يبدو عادلًا، أم لا، بمعنى أنهم لم يتعاملوا مع أي من البدائل بشكل مختلف عن غيرها". وفي العام الماضي، أعلن بيرلموتر، وعالِم النفس روبرت ماكون ـ من جامعة ستانفورد في كاليفورنيا ـ في مقال نُشر بقسم التعليقات بدورية *Nature*[6] أن هذا النهج يمكنه الحدّ من تحيُّز الباحثين في مجالات كثيرة.

بالطبع، هناك أوضاع لا يكون فيها تعدد الفرضيات مفيدًا، أو حتى ممكنًا، فإذا صادف الباحثون اكتشافًا غامضًا، قد يبذلون جهودًا مضنية؛ للوصول إلى تفسير واحد مقبول. وحتى إذا كان بإمكان هؤلاء الباحثين الجمع ما بين بعض الفرضيات، فإنه لا يوجد ضمان بأن الفرضية الصحيحة واحدة من بين تلك الفرضيات، وذلك هو السبب في أن الفرضيات ينبغي أن تظل "تعمل"، حتى يمكن تنقيحها في ضوء المعلومات الجديدة.

وتطرح بعض الأوضاع الأخرى تحديًا معاكسًا لذلك، ألا وهو وجود عدد كبير جدًّا من الفرضيات. وتبحث فريا بليكمان ـ عالمة الفيزياء التجريبية بجامعة بروكسل الحرة (الناطقة بالهولندية) ـ عن جسيمات أولية في منشآت معينة، مثل مصادم الهدرونات الكبير في المختبَر الأوروبي لفيزياء الجسيمات سيرن CERN، الواقع بالقرب من جنيف السويسرية. وفي مجال تخصصها، طرح العلماء النظريون بالفعل عددًا لا يُحصى من الاحتمالات، بينما تتلخص مهمتها في اكتشاف أيٍّ من تلك الاحتمالات مدعَّم بالأدلة والبراهين.

ولأن هذه النماذج غالبًا ما تكون متعارضة مع بعضها البعض، فعادةً ما تقيِّمها بليكمان واحدًا تلو الآخر باستخدام القيم الاحتمالية، وإنْ كانت تتمسك بمستوى عالٍ جدًّا من الدلالة الإحصائية. ففي مجالات معينة، مثل علم النفس، والطب، هناك توجُّه متزايد نحو التخلي عن هذا الأسلوب، إذ يمكن أن يغري الباحثين

أفكار نافعة

لا تأخذ بالأفضلية

لتطبيق منهج فرضيات العمل المتعددة، جَرِّبْ اتباع النقاط الإرشادية التالية:

- ضع قائمة بالفرضيات المحتمَلة، قبل جمع بيانات جديدة، أو النظر فيها.
- تحدَّثْ إلى زملائك، وحاوِل أن تطعن في افتراضاتك، عن طريق وضع فرضية غير معقولة واحدة على الأقل.
- للوصول إلى أعلى كفاءة في التعلم، قم بصياغة فرضيات تكون متمايزة عن بعضها البعض قدر الإمكان.
- استخدِمْ أساليب تحليلية تمنعك من الإتيان بأفكار أولية عمّا تخبرك به بياناتك. قد يتضمن ذلك تحليل عينات، بدون ترتيب، أو إلقاء الغموض على بياناتك، أو استخدام اختبارات إحصائية مختلفة.
- قبل النظر في بياناتك، حاوِلْ أن تصوغ جميع النتائج المحتمَلة، وكيف ستختبر كل نتيجة منها على حدة، وتميِّزها عن البقية.
- ضَعْ في ذهنك أن عدم التوصل إلى نتيجة لا يُعَدّ نوعًا من الفشل، بل يُعتبر معلومة إضافية. **جيه. آر.**

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

بالبحث عن منهجيات تحليلية تُخْرِج لهم نتائج ذات دلالة، إلا أن بليكمان تقول إن مجتمع الفيزياء قد نجح في القضاء على هذه المشكلة بشكل كبير، من خلال التعمية، وخَلْق ثقافة مؤمنة جدًّا بتعدد الفرضيات، لدرجة أنّ عدم الوصول إلى أي شيء يساوي في الأهمية اكتشاف شيء ما. تقول: "في مجالنا تُعَدّ النتيجة الصِّفرية نتيجة قيمة".

وفي الواقع، لا ينبغي دائمًا أن يُمارَس منهج تعدد الفرضيات على المستوى الفردي فقط، بل يمكن أن يحدث عبر مجالات بأكملها، فالمجموعات المختلفة يمكنها تطوير فرضيات متنوعة، طالما ظلت متفتحة الذهن، كما أن عملية مراجعة الأقران يمكنها أيضًا أن تساعد في الترويج للأمر. يقول برانش: "أعتقد أنه من مسؤوليتنا كمحررين ومراجعين أن نأتي ببدائل، وأن نطلب من المؤلفين الذين يبتكرون فرضيات جديدة أن يُدْرِجوا أيضًا بدائل عندما يطرحون تلك الفرضيات للمرة الأولى".

وبغض النظر عن كيفية تطبيقهم للمنهج، يقول عدد كبير من الباحثين إنهم مروا على فكرة تعدد الفرضيات صدفةً أثناء دراساتهم العليا، أو بعد ذلك. لم يكن برانش قد سمع بتلك النظرية قبل السنوات القليلة الماضية، إلا أنها أذهلته للغاية؛ لدرجة أنه كَتَب مقالًا في العام الماضي، يقول فيه إنه يجب على الباحثين ألّا يكتفوا بتفسير واحد شامل لكيفية تأثير المزارع السمكية على شبكات الغذاء البحرية، بل ينبغي عليهم النظر في كيفية تطبيق نماذج مختلفة في مناطق متنوعة حول العالم[7].

ويقول بعض الباحثين إن مشرفيهم قد شجعوهم على قراءة نصوص فلسفة العلوم الكلاسيكية، مثل كتاب توماس كون «بنية الثورات العلمية»، المطبوع في (مطبعة جامعة شيكاغو، 1962)، أو كانوا يشجعون المناقشات الخاصة بالجانب العملي من المنهج العلمي، التي كانت تدور في اجتماعات المختبرات، بيد أن كثيرًا من العلماء قد يمرون عبر مسارهم المهني كله، بدون أن يتلقّوا أي تدريب رسمي لكيفية تطوير الفرضيات.

وهذا الأمر مؤسف للغاية؛ لأن تعلُّم منهج تعدد الفرضيات وتطبيقه يمكنه تحسين جودة العمل الذي يقوم به العلماء، إلى جانب تمكين العلماء أنفسهم، وذلك حسب قول سايمز، التي نَشَرَتْ في العام الماضي دليلًا إرشاديًّا عن تدريس عملية إجراء البحوث[8]. تقول: "دائمًا ما تؤلمني رؤية كيف يتلخَّص تعريف الطلاب للنجاح أو الفشل في تأييدهم لفرضية معينة. إنّ الفشل هو ألا تقوم بجمع البيانات التي تحتاجها، والنجاح هو أن تكون قادرًا على التمييز ما بين الاحتمالات". ■

جوليا روزين كاتبة حرة، تقيم في بورتلاند، أوريجون.

1. Chamberlin, T. C. *Science* **15,** 92–96 (1890).
2. Smaldino, P. E. & McElreath, R. Preprint at https://arxiv.org/abs/1605.09511 (2016).
3. Elliott, L. P. & Brook, B. W. *BioScience* **57,** 608–614 (2007).
4. Pardon, L. G., Brook, B. W., Griffiths, A. D. & Braithwaite, R. W. *J. Animal Ecol.* **72,** 106–115 (2003).
5. Wegener, A. *Petermanns Geogr. Mitt.* **58,** 185–185, 253–256, 305–309 (1912).
6. MacCoun, R. & Perlmutter, S. *Nature* **526,** 187–189 (2015).
7. Branch, T. A. *Fisheries* **40,** 373–375 (2015).
8. Symes, L. B., Serrell, N. & Ayres, M. P. *Bull. Ecol. Soc. Am.* **96,** 352–367 (2015).



تعمل شيكاكو هيروس مهندسة فضاء في وكالة استكشاف الفضاء اليابانية «جاكسا» JAXA، وترأست الفريق الذي تمكن من توجيه مسبار «أكاتسوكي» Akatsuki إلى مداره حول كوكب الزهرة في 7 ديسمبر 2015. كما قادت المهمة الكوكبية اليابانية الوحيدة الناجحة حتى الآن، حيث أصلحت مسار المركبة الفضائية بعد محاولة إدراج فاشلة في 2010.



ما الذي دفعك لأن تصبحي مهندسة فضاء؟

عندما كنت في التاسعة من عمري، عرفت من معلمي في المدرسة أن البشر ذهبوا إلى القمر؛ فأصبحت فضولية إزاء الفضاء. وفي عمر الخامسة عشرة، أرسلت خطابات إلى العديد من المختبرات في ناسا، طلبا للنصح حول كيفية الانخراط في أنشطة متعلقة بالفضاء. حالفني الحظ، عندما أجابني مهندس متقاعد من مركز جودارد للرحلات الفضائية التابع لناسا، ونصحني بأن أذاكر بجد مواد الكيمياء والفيزياء والرياضيات. وعندما بلغت التاسعة عشرة، أعلنت وكالة استكشاف الفضاء اليابانية أنها ستختار 20 طالبًا لحضور المؤتمر الدولي الخمسين للملاحة الفضائية في أمستردام، فتقدمت. وقادتني هذه الفرصة في النهاية إلى وظيفة رسمية في الوكالة.

لماذا كنت متواجدة في غرفة التحكم أثناء فشل أكاتسوكي في الدخول إلى مدار كوكب الزهرة في 2010؟

أردت أن أنخرط في مهمات في الفضاء العميق. فكنت أذهب إلى غرفة مشروع أكاتسوكي كل يوم فقط لأرى ما إذا كان هناك ما يمكنني فعله. وفي الغالب كنت أستمع فقط. انحرفت المركبة بعيدًا عن الزهرة في الوقت الذي كان مقررًا لها أن تدخل مداره، لذا لم نتمكن من تلقي إشارات مستمرة. وعندما حل الوقت المتوقع، لم نتلقَّ أي شيء. مرت ثانية ثم اثنتان ثم ثلاث ... وبعد 15 ثانية، كان الناس يهمسون: "ماذا يحدث لأكاتسوكي؟" ثم عرفنا أن المحرك الرئيسي لم يعمل كما كان مقررًا له، لذا دخلت المركبة الفضائية في الوضع الآمن وأخذت تتداعى. كانت خيبة الأمل بادية على وجوه العلماء.

كيف انتهى بك المطاف إلى قيادة عملية إعادة الإحياء؟

كنت قد قمت بأعمال لتحليل الحطام الفضائي وتقدير مدى اقترابها عن الأقمار الاصطناعية. جعلتني هذه التجربة خبيرة في تحليل المسارات والمدارات. فحددنا، بناءً على الجاذبية بين الشمس والزهرة، أن أكاتسوكي لن يصل إلى الزهرة مجددًا إلا بعد خمس سنوات. فحاولنا الحفاظ على المركبة الفضائية على أفضل نحو ممكن، خاصة وأن عمرها التصميمي عامان ونصف فقط.

ماذا كان العائق الأكبر الذي واجهتِه في تصميم المسار الجديد لأكاتسوكي؟

كان مدار المركبة الفضائية قد أصبح طويلًا جدًّا وبيضاويًّا (370 ألف كيلومتر في أبعد نقطة عن الزهرة؛ بما يشبه المسافة بين الأرض والقمر، و400 كيلومتر في أقرب نقطة). وفي أبعد نقطة كان يمكن للمركبة الفضائية أن تستغرق أكثر من 10 ساعات لتخرج من ظل الكوكب، في حين لا تستطيع بطاريات أكاتسوكي التي تشحن بالطاقة الشمسية، أن تدوم لساعتين كاملتين. فكان علينا أن نعدّل مدار المركبة عدة مرات على مدى الخمسة الأعوام، وأن نقوم بمناورات حتى لا نستهلك عمر البطاريات.

كم كانت ثقتك في نجاح هذه المهمة؟

كنتُ مازلت لا أعلم ما إذا كانت محركات أكاتسوكي عملت حقا أم لا. كانت خطتنا الأساسية أن نستخدم المحركات الأربعة على أحد الجانبين، وكنا مستعدين في حال فشلها لتدوير المركبة الفضائية 180 درجة لاستخدام المحركات الأربعة على الجانب الآخر. كنا نراقب سرعة المركبة الفضائية بدقة، ورأينا أن التغير كان مطابقا لتوقعاتنا، حتى عرفنا أن أكاتسوكي دخل المدار حول الزهرة بالفعل.

كيف احتفلتم بهذا الإنجاز؟

في 2010، كنا قد أستعددنا للاحتفال، لكننا فشلنا. أما في 2015، فقد جلبت زجاجة من الشمبانيا، لكنني لم أخبر أيا من زملائي، حتى لحظة نجاح العملية. عندها فتحنا الزجاجة وشربناها معا.

هل مازلتِ تعملين على أي شيء له علاقة بأكاتسوكي؟

نعم، ما زلتُ مسؤولة عن التحكم في توجيه أكاتسوكي حول الزهرة، وهو يغير اتجاهه كل ساعة تقريبا، عندما تكون المركبة في أقرب نقطة من الكوكب. كما أني مسؤولة عن ضمان أن تكون المركبة الفضائية موجهة بشكل صحيح بما يسمح بإرسال البيانات التي تتحصل عليها إلى الأرض. ونتوقع أن يعيش أكاتسوكي خمسة أعوام أخرى قبل أن يتحطم على سطح الزهرة. ■

أجرت المقابلة سمريتي مالاباتي

تم تحرير هذه المقابلة بغرض الاختصار والتوضيح.

جدران نيجيريا

روابط أسرية.



ILLUSTRATION BY JACEY

جيريمي سزال

بينما أسير أسفل التل، أحِّدق في أطلال مدينة لاجوس، عبر القناع الذي أرتديه، كجزء من بَزَّتي المعدنية الثقيلة. المباني تنهار، وتغرق في البحر. سُحُب الدخان الكثيفة تتصاعد إلى السماء. كانت المدينة تعج بالعمل والعمالة الماهرة، لكن كل شيء تلاشى في غضون أسابيع.

ألهث بشدة، بينما أواصل السير أسفل التل. يسيل العرق بغزارة من جسدي، القابع خلف بَزَّة رمادية، مصنوعة من برونز المدافع، تغطيني من مفرق رأسي إلى أخمص قدمي، وتزن مئات الكيلوجرامات. نظام التبريد المعطَّل يجعلني أسبح في بحر من العرق، ولولا وحدات الهيدروليك المنتشرة حول عمودي الفقري، ما استطعتُ التحكم في هذه البَزَّة. والآن يجب عليَّ أن أبذل مزيدًا من الجهد؛ لأتمكن من السيطرة عليها؛ إذ يبدو لي أنها تمتلك عقلًا يسعى لفرض سيطرته، وذلك بإلغاء الأوامر من شاشة العرض، وتجميد العمل لفترات عشوائية، وفَصل بياناتي الحسية.

أقترِبُ من المدرسة التي كنتُ أدرس فيها قبل هذا الدمار بسنوات. لم يبقَ سوى عدد قليل من أشجار النخيل المتناثرة، التي يترنح سعفها تحت هول الرياح العاتية. أستعيدُ ذكرى أحد أيام الثلاثاء الخانقة، عندما حاولت مع تينداي التسلل خارج حجرة الدراسة، وسمعنا للمرة الأولى أننا نجحنا في القبض على أحد أفراد K'Dasewh. وبعد كل هذه السنين، نجحنا أخيرًا في القبض على أحد الغرباء القادمين من الفضاء.

ألْمَحُ أشلاء جندي بالقرب من المدرسة، ولوحة فنية كبيرة تغطي الجدار، وكلمات غير مكتملة، تتناثر فوق حطام حَجَر بناء أحمر، بلون الأرض المخضبة بالدماء. الطباشير أيضًا يتناثر فوق الأرض. ورغم أن درع الجندي محطم، فلا يزال ينبض بوهج اللآلئ الحيوية الزرقاء، بينما نَمَت بَزَّتُه داخل لحمه، كأنها جزء من نسيجه. وانغزلت السبائك المعدنية والأسلاك في جلده الداكن، فيما يشبه الأغصان المعروشة. أتفادى بخطواتي قشور جوز الهند الفارغة؛ لأقرأ المكتوب على بَزَّته، وأعرف تاريخ موته. مات منذ ثلاثة أشهر تقريبًا، وكان يرتدي البَزَّة قبلها بشهرين فقط، كانا كافِيَين ليصل إلى هذه الحالة.

أمّا أنا، فأعيش داخل بَزَّتي منذ عامين.

يمتلئ جِلْدي بذكريات احتباسه خلف أغلال بَزّاتنا المدرَّعة، المشبعة بالحمض النووي لكائن فضائي. لقد قاموا بفحص هذه الكائنات، وأخذوا من تقنيتها الحيوية خاصِّيَّتي الشفاء الذاتي، والقوة المعزَّزة، ونقلوهما إلينا. نجحت الفكرة إلى حين.

لم نكن نعرف أن تلك التقنية تحتاج إلى نسيج حي؛ لتؤدي وظائفها، وتصلح أجسادنا. ولأنه لا يمكن الحصول على الكتلة الحيوية من العدم؛ فقد راحت البَزَّة تنمو ببطء داخل اللحم، وتشقّ أنفاقًا لها عبر الجروح المتقيحة والأعضاء المتهتكة التي خلَّفَتها المعركة، وتذوب في جسد مرتديها. ولم يُطبَّق الحجر الصحي، إلا بعد فوات الأوان.

لا أعرِفُ ما إذا كان لم يزل لديَّ لحم، أو كانت الكابلات قد أحاطت بعظامي، مثلما تحيط النباتات المتسلقة بالأشجار. لا أعرف أيضًا ما إذا كانت قد اخترقت دماغي، وأخذت في تدميره، أم لا، في محاولة من البَزَّة لفرض سيطرتها بصورة كاملة، وإحكام قبضتها عليَّ يومًا بعد يوم. لا أعرف، ولا أجد سبيلًا للمعرفة، وهذا أكثر ما يرعبني.

على مدّ البصر، ألمح محيطًا حيويًّا، ممتدًّا فوق الأرض، يحتوي بعض آخِر المستوطنات البشرية الباقية. يُحظر علينا الاقتراب منها حتى مسافة خمسة كيلومترات؛ خوفا من العدوى. لا تزال هذه المستوطنات تستقبل لاجئين من غانا والكاميرون، لكن معظمهم تم تسكينه بالفعل في مستعمرات خارجية نائية، وكواكب قابلة للسكنى خارج النظام الشمسي.

تعيش زوجتي وطفلاي وسط هؤلاء. ومن المفترَض أن يكون بِن الآن في السادسة من عمره، وإميكا في الثامنة، أو ربما التاسعة.

هذه هي المجموعة الأخيرة، التي بقيت على سطح الأرض؛ للتحقق من عدم تخلُّف أحد، أيّ أحد غيرنا.

نجحتُ في الولوج إلى القناة الخاصة بقائدي. استغرق الأمر ثلاث محاولات، لأسجِّل الدخول على نحو صحيح. حاولت البَزَّة إلغاء الأمر، لكنني نجحتُ في النهاية.

يظهر القائد سومادينا ـ بوجهه الأشهب ـ في الجانب الأيمن السفلي من مجال رؤيتي، قائلًا: "لا تزال هناك يا ولدي؟ ظننتُ أنك مت".

أتمنى لو كنت قد متُّ بالفعل، لكنني أجبته: "نعم سيدي، لا أزال هنا".

أجابني: "أتمنى لو أستطيع المساعدة، لكننا لا نستطيع أن نسمح لأحد منكم ـ أيها الحاملون للوباء ـ بالدخول في المجال الحيوي. لا يمكن أن نترك فيروس التقنية الحيوية يتفشى، لا سيما في المستعمرة الجديدة".

أطبق فمي، وأحكم القبض على دِرْعي. أقول بحسرة: "بعد كل ما فعلناه؟" أفتح ذراعي. الدرع يلفني، كالأغلال حول المعصم. أصيح: "لقد قاتلنا من أجل هذه المدينة، وضحَّينا في سبيلها بكل ما نملك".

يهزّ القائد رأسه، ويردف: "ولكن انظر إلى ما حدث. لقد أرسلوا أسطولهم كاملًا إلى المدينة؛ ودمَّروها".

لا يهمّ ما فعلناه، ولا ما أبديناه من صلابة وشجاعة في القتال. لم يكن ذلك كله كافيًا؛ فقبل أن ندمِّر آخِر قِطَعهم البحرية، كان عالمنا قد تحطَّم.

أشرئبُّ لأنظر إلى السماء. في مكان ما في هذا الكون العملاق، تسكن أسرتي. أتوسلُ إلى قائدي: "دَعْنِي ـ على الأقل ـ أتحدث إلى زوجتي للمرة الأخيرة، أو أبعثُ برسالة".

يجيبني: "مستحيل. لا يمكننا أن نخبرك عن مكان المستعمرة. ماذا لو قبضوا عليك وعذَّبوك؟ كما أنّ دِرْعك سيحفظ الموقع. كل حاملي الوباء الآخرين يعانون مثلك".

أريد أن أصرخ. أريد أن أضحك كالمجنون، لكن حلقي مسدود بكتلة خرسانية، وكل كلمة تحاول الخروج كأنما تُخْرِج أحشائي معها. ربما بدأتْ البَزَّة الآن تلتهم حلقي وأحبالي الصوتية. سأفقِدُ عاجلًا قدرتي على النطق. أخاطبه بيأس: "إذَن، أهذا كل شيء؟"، فيجيب، دون أن يقدر حتى على النظر إليَّ: "أعتذر إليك بشدة. الوداع يا كوهبان".

يقطع القائد الاتصال، ويتركني هنا. الأصفاد تتوغل في جسدي على نحو أعمق.

يضغط الدرع والكون بثقليهما على كتفيّ؛ فأترنح باتجاه الجدار، وألتقط بعض الطباشير. ترتجف يداي بشدة، وأنا أخطُّ على عَجَل رسالة إلى أصدقائي، وأسرتي، وشعب نيجيريا بأسره. أَخُطُّها بسرعة، قبل أن يَحبِس الدرعُ جسدي. أُخْبِرُهم أني أشتاق إليهم، وقد أصبحت الآن جزءًا من هذا العالم، وأؤكد لهم أن كائنات K'Dasewh لن تتمكن أبدًا من السيطرة على كوكبنا.

في يوم من الأيام، عندما يعود قومي إلى أرض جديدة ونظيفة، سوف تكون هذه الرسالة في شرف استقبالهم. أتمنى ألّا أكون هنا عندما يحدث ذلك.

عيناي لا تستطيعان الرؤية بوضوح، ربما بسبب الدموع، أو بسبب أنّ البَزَّة تحاول طَمْس رؤيتي. لا أظنُّ أنني سأعرف ـ على وجه اليقين ـ أبدًا. ■

جيريمي سزال نُشرت أعماله في دوريات، منها: دورية *Nature*، وآبيس آند آبيكس، ولايتسبيد، وغيرها. يعيش في سيدني، أستراليا، ويسعى إلى التحقق الأدبي. يمكن زيارته على: Jeremyszal.com، أو @jeremyszal.

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية